

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
 Отделение **электронной инженерии**

### БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
<b>Разработка и исследование автономного индуктивно-емкостного преобразователя для питания газоразрядной лампы.</b>

УДК 621.314-042.65:621.327

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Хун Су		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ярославцев Е.В.	к.т.н., доцент		

Нормоконтроль

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Лежнина И. А.			

**КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В. А.	К.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель (ООД, ШБИП)	Гуляев М.В.	-		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

Томск – 2020 г.

## Планируемые результаты обучения

Код	Результат обучения
Общие по направлению подготовки	
P1	Применять базовые и специальные естественнонаучные, математические, социально-экономические и профессиональные знания в комплексной инженерной деятельности при разработке, исследовании, эксплуатации, обслуживании и ремонте современной высокоэффективной электронной техники
P2	Ставить и решать задачи комплексного инженерного анализа и синтеза с использованием базовых и специальных знаний, современных аналитических методов и моделей
P3	Выбирать и использовать на основе базовых и специальных знаний необходимое оборудование, инструменты и технологии для ведения комплексной практической инженерной деятельности с учетом экономических, экологических, социальных и иных ограничений
P4	Выполнять комплексные инженерные проекты по разработке высокоэффективной электронной техники различного назначения с применением базовых и специальных знаний, современных методов проектирования для достижения оптимальных результатов, соответствующих техническому заданию с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
P5	Проводить комплексные инженерные исследования, включая поиск необходимой информации, эксперимент, анализ и интерпретацию данных с применением базовых и специальных знаний и современных методов для достижения требуемых результатов
P6	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современное высокотехнологичное оборудование в предметной сфере электронного приборостроения, обеспечивать его высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды
P7	Использовать базовые и специальные знания в области проектного менеджмента для ведения комплексной инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности
P8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе, в том числе на иностранном языке, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты комплексной инженерной деятельности

P9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена команды, проявлять навыки руководства группой исполнителей, состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, с делением ответственности и полномочий при решении комплексных инженерных задач
P10	Демонстрировать личную ответственность, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения комплексной инженерной деятельности
P11	Демонстрировать знание правовых социальных, экологических и культурных аспектов комплексной инженерной деятельности, компетентность в вопросах охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности
P12	Проявлять способность к самообучению и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности
<b>Элективная группа «Инжиниринг в электронике»</b>	
P13	Проектировать, конструировать, проводить необходимые инженерные расчеты и испытания для обеспечения качественной и надежной работы высокотехнологичных электронных и механотронных приборов, систем и устройств и средств их испытаний.
P14	Проводить сопровождение технологического процесса изготовления изделий микроэлектроники.
P15	Проектировать, конструировать, проводить моделирование, верификацию и уточнение разработанных микро и наноразмерных электромеханических систем и цифровых схем для их управления включая разработку физического прототипа.
<b>Элективная группа «Промышленная электроника»</b>	
P16	Осуществлять профессиональную деятельность в области разработки, проектирования и эксплуатации преобразователей электрической энергии высокоэффективной электронной техники.
P17	Разрабатывать, проектировать, использовать в профессиональной деятельности устройства, приборы и системы аналоговой и цифровой электронной техники различного назначения.
P18	Проектировать, проводить технологическое сопровождение создания и осуществлять эксплуатацию электронных средств и электронных систем для обеспечения долговечного бесперебойного функционирования бортовых комплексов управления (БКУ).

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ В.С. Иванова  
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

### ЗАДАНИЕ

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1А6А	Хун Су

Тема работы:

<b>Разработка и исследование автономного индуктивно-емкостного преобразователя для питания газоразрядной лампы.</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	
Срок сдачи студентом выполненной работы:	

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p><b>Исходные данные к работе</b>  <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p><i>Разработать источник вторичного питания с параметрами:</i></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) входное напряжение – постоянное <math>12 \pm 1</math> В (аккумулятор);</li> <li>2) выходное напряжение – переменное прямоугольное (меандр) с амплитудой <math>150 \pm 5</math> В и частотой <math>24 \pm 1</math> кГц;</li> <li>3) выходная мощность – до 50 Вт;</li> <li>4) характер нагрузки – нелинейная (люминесцентная лампа ЛБ-40);</li> <li>5) условия эксплуатации – лабораторные;</li> <li>6) массогабаритные параметры – не регламентируются.</li> </ol> <p><i>Работа устройства не должна наносить вред окружающей среде и людям, находящимся в непосредственной близости от него</i></p>
---	---

<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p><i>Аналитический обзор литературы в рассматриваемой области науки и техники; обоснованный выбор схемотехнического решения для реализации требований технического задания; расчёт принципиальной схемы устройства; разработка модели и проведение имитационного моделирования; сравнение результатов моделирования с результатами расчетов.</i></p>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<p><i>Схема электрическая принципиальная</i></p>

<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Раздел «Финансовый менеджмент»	Маланина В. А.
Раздел «Социальная ответственность»	Гуляев М. В.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Введение	
Обзор литературы	
Объект и методика исследования	
Расчеты и аналитика	
Результаты проведенного эксперимента	
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	
Заключение	
<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	

**Задание выдал руководитель:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
доцент	Ярославцев Е.В.	к.т.н., доцент		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
1А6А	Хун Су		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности**  
 Направление подготовки **11.03.04 Электроника и нанoeлектроника**  
 Уровень образования **бакалавриат**  
 Отделение **электронной инженерии**  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)  
 Форма представления работы:

**бакалаврская работа**

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН

#### выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:		08.06.2020	
Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)	
15.12.2019	Обзор литературы по теме работы. Выбор схемотехнического решения для реализации технического задания. Расчет силовой части и системы управления инвертора, расчет индуктивно-емкостного преобразователя, выбор элементной базы.	30	
14.04.2020	Разработка модели устройства в программе Multisim. Настройка модели, проведение экспериментов. Обработка результатов моделирования.	30	
	«Социальная ответственность»	20	
	«Финансовый менеджмент»	20	

#### СОСТАВИЛ:

##### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ярославцев Е.В.	к.т.н., доцент		

#### СОГЛАСОВАНО:

##### Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Иванова В.С.	к.т.н.		

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 85 с., 39 рис., 16 табл., 18 источников, 1 прил.

Ключевые слова: люминесцентная лампа, дуговой разряд, инвертор, индуктивно-емкостные преобразователи, двухтактные преобразователи, высокочастотное питание люминесцентных ламп.

Объектом исследования являются системы неизменного (стабилизированного) тока на основе индуктивно-емкостного преобразователя, то есть системы распределения и потребления электрической энергии, обеспечивающие независимость выходного тока от величины сопротивления нагрузки.

Цель работы – разработка индуктивно-емкостного преобразователя для питания нелинейной нагрузки.

В процессе выполнения ВКР была разработана и исследована рабочая модель устройства и получены диаграммы токов и напряжений для всех основных элементов схемы, доказывающие работоспособность источника питания и выполнение устройством всех требований технического задания.

Основные конструктивные, технологические и технико-эксплуатационные характеристики: структурная схема источника питания содержит три основных блока: инвертор с системой управления, индуктивно-емкостной преобразователь и нагрузку в виде люминесцентной лампы. Импульсные сигналы определенной частоты генерируются системой управления и задают нужный алгоритм работы ключевых элементов инвертора. Переменное прямоугольное напряжение с выхода инвертора формирует переменный ток определенной частоты, который стабилизируется по величине индуктивно-емкостным преобразователем, обеспечивающим его неизменность в широком диапазоне изменения сопротивления нагрузки.

Степень внедрения. Полностью разработана схема преобразователя. Рассчитаны и выбраны все необходимые компоненты. Работоспособность

разработанного устройства и выполнение всех требований технического задания подтверждаются экспериментами по моделированию схемы.

Область применения: питание разработанного автономного преобразователя осуществляется от источника постоянного напряжения номиналом 12 В, следовательно, спроектированное устройство имеет достаточно узкую сферу применения. Его целесообразно использовать для освещения небольших помещений: гаражей и садовых домов, а также в других условиях ограниченного энергопотребления либо отсутствия сетевого напряжения.

Экономическая эффективность/значимость работы: расчеты эффективности проекта показали, что проект имеет средний уровень научно-технического эффекта, однако, вполне оправдывает экономические затраты с учетом повышения световых характеристик (в частности, повышение световой отдачи до 30-35%) и ликвидации стробоскопического эффекта.

В будущем планируется доработка схемы и исследование при различных режимах работы.



## Оглавление

Введение	10
1 Обзор литературы	12
1.1 Индуктивно-емкостные преобразователи	13
1.2 Полупроводниковые инверторы	16
1.3 Люминесцентная лампа	21
2 Объект и методы исследования	24
3 Расчет и анализ	29
3.1 Расчет ИЕП	29
3.2 Расчет трансформатора	31
3.3 Выбор транзисторов	34
3.4 Расчет схемы управления транзисторами	37
4 Результаты эксперимента	42
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	52
6 Социальная ответственность	71
Заключение	83
Список используемых источников	84

## Введение

В современной электротехнике системы постоянного (неизменного) тока широко используются в случаях, когда требуется обеспечить независимость величины тока нагрузки от значения сопротивления нагрузки. Источники питания, формирующие неизменный ток, широко используются во многих областях электротехники и инженерной электрофизики, например, в установках, в которых используется дуговой разряд. Стабилизация тока обеспечивает улучшение статической и динамической устойчивости дугового разряда, облегчает условия зажигания дуги и повторяемость основных параметров разрядного процесса и т.д.

Для получения неизменного по величине переменного тока широко используются индуктивно-емкостные преобразователи (ИЕП) из-за их простоты, надежности и экономичности. Однако у ИЕП есть свои недостатки относительно большие масса и габариты, особенно при пониженной рабочей частоте. Кроме того, достаточно сложно организовать плавную регулировку выходного тока преобразователя. Теорией ИЕП занимались такие ученые, как П. Бушери, Штайнметц, Уиллис, Бедфорд, А.Н. Милях, И.В. Волков и другие.

Целью данной выпускной квалификационной работы (ВКР) является исследование и разработка автономного источника питания с неизменным выходным током, предназначенного для питания люминесцентной лампы типа ЛБ-40 (мощность 40 Ватт). В качестве основного блока источника используется г-образный индуктивно-емкостной преобразователь (ИЕП). Такое техническое решение позволяет увеличить энергетическую эффективность люминесцентной лампы, устранить необходимость применения массивных ПРА, а также ликвидировать стробоскопический эффект. Согласно исследованиям [1], питание высокочастотным ( $> 20$  кГц) стабилизированным током позволяет увеличить световую отдачу люминесцентной лампы до 30-35%. Промежуточным звеном между первичным источником питания (аккумулятор) и ИЕП является двухтактный инвертор, преобразующий постоянное

напряжение аккумулятора в переменное прямоугольное, поступающее на вход индуктивно-емкостного преобразователя. Такое построение схемы увеличивает КПД устройства за счет снижения потерь мощности на переключение транзисторов, а также обеспечивает протекание неизменного тока в нагрузке, имеющей нелинейный характер.

## 1 Обзор литературы

По техническому заданию необходимо спроектировать преобразователь, питающийся от источника постоянного напряжения, работающий на частоте 24 кГц со стабилизацией выходного тока, не зависящего от нелинейного характера нагрузки. Следовательно, преобразователь должен решать следующие задачи:

- Преобразование постоянного напряжения в переменное (инвертирование);
- Преобразование источника неизменного напряжения в источник неизменного тока.

Для решения задачи инвертирования входного сигнала воспользуемся схемой полупроводникового ключевого инвертора. В отличие от ламп, транзисторы и тиристоры обладают меньшими габаритами, а также лучшей радиационной и ударной устойчивостью, чем обосновано использование именно полупроводников.

Для обеспечения независимости величины тока нагрузки от ее характера следует применить схему индуктивно-емкостного преобразователя. Данные схемы имеют высокий КПД и коэффициент мощности, широкий рабочий диапазон при абсолютной конструктивной простоте.

Исходя из всего вышеперечисленного, структурная схема будет выглядеть следующим образом.

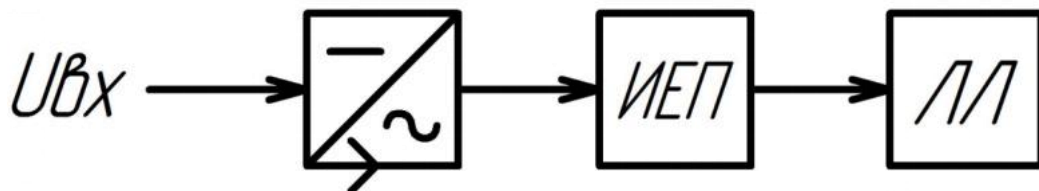


Рисунок 1 – Структурная схема преобразователя

Первый блок на рисунке 1 - это инвертор, его функция заключается в преобразовании напряжения постоянного тока в высокочастотное напряжение

переменного тока. На входе инвертора действует напряжение постоянного тока. С выхода инвертора напряжение переменного тока поступает на вход индуктивно-емкостного преобразователя.

Второй блок это индуктивно-емкостной преобразователь, обеспечивающий неизменную величину переменного тока нагрузки при ее нелинейном характере и изменении сопротивления в широких пределах.

Третий блок – нагрузка ИЕП (люминесцентная лампа).

### 1.1 Индуктивно-емкостного преобразователя

Системы неизменного тока находят широкое применение в таких областях техники, как электроэнергетика, электроснабжение, измерительная и вычислительная техника, светотехника и др. Наиболее высокой эффективностью в этом случае обладают системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей. В основе их работы лежит явление электрического резонанса, ведь данный тип преобразователей представляет собой последовательность колебательных контуров. Существуют различные формы индуктивно-емкостных преобразователей в зависимости от количества и способа подключения реактивных элементов – Г-образную, Т-образную, П-образную, а также их последовательности[2].

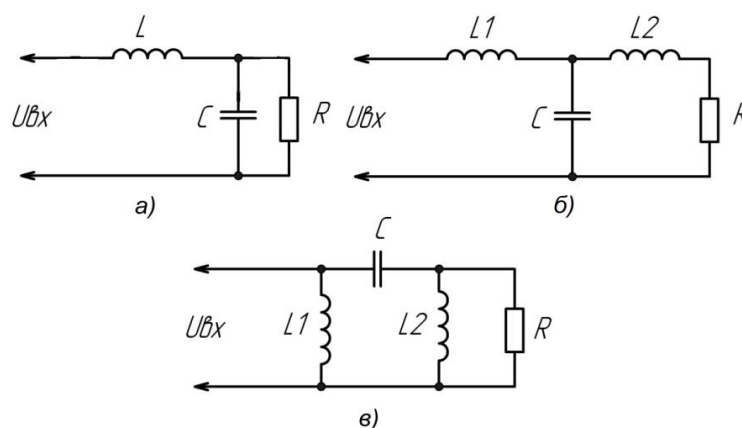


Рис.2 - Типичная схема индуктивно-емкостного преобразователя: а) Г-образный, б) Т-образный, в) U-образный

Данные преобразователи широко применяются для питания и поддержания дугового разряда. Вольт-амперная характеристика электрической дуги имеет падающий участок, т.е. имеет отрицательное динамическое сопротивление, что обосновывает применение систем постоянного тока[3].

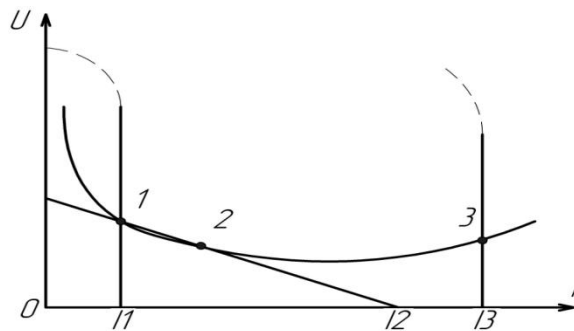


Рисунок 3.— ВАХ дугового разряда и источников питания, объясняющие применение источников неизменного тока для питания устройств на основе дугового разряда.

Широкое применение индуктивно-емкостных преобразователей в электротехнике объясняется следующими преимуществами :

- высокая эксплуатационная надежность благодаря конструктивной простоте;
- Высокая энергетическая эффективность — КПД и коэффициент мощности;
- Широкий диапазон рабочих токов, напряжений и частот;
- Возможность сочетания схем различного назначения в одном устройстве;
- Способность параллельной работы блоков индуктивно-емкостных преобразователей на различные токи и мощности, создающая благоприятные условия для регулирования;
- Возможность реверсивного преобразования;
- Компенсация реактивной мощности благодаря способности

трансформировать знак фазового угла на противоположный;

- Практическая безынерционность.

Проведем анализ Г-образного индуктивно-емкостного преобразователя с предвключенной индуктивностью и докажем, что данный преобразователь является системой неизменного тока.

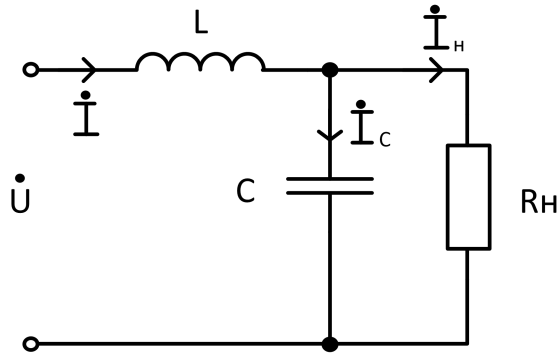


Рисунок 4 – Схема ИЕП

Пусть на входе действует напряжение  $\dot{U} = U_m \sin \omega t$  и выполняется условие нормальной работы ИЕП – условие резонанса ( $\omega^2 LC = 1$ ), тогда справедливо:

$$\dot{I}_{вх} = \frac{\dot{U}}{\dot{Z}_{вх}} = \frac{\dot{U}}{j\omega_0 L - \frac{j\omega_0 L R_n}{R_n - j\omega_0 L}} = \frac{\dot{U}}{\omega_0 L} \left( \frac{R_n}{\omega_0 L} - j \right) \quad (1)$$

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U} \cdot R_n}{\omega_0^2 L^2} \quad (2)$$

$$\dot{I}_n = -j \frac{\dot{U}}{\omega_0 L} \quad (3)$$

Где-  $I_{вх}$ : Входной ток.  $U$ : входное напряжение.

$Z_{вх}$ : Эквивалентное входное сопротивление.

$R_n$ : сопротивление нагрузки.

$I_c$ : ток, протекающий через конденсатор  $C$ .

$I_n$ : ток на нагрузке.

$L$ : индуктивность дросселя.  $\omega_0$ : резонансная частота переменного тока.

Таким образом, амплитудное значение тока нагрузки:  $I_{nm} = \frac{U_m}{\omega_0 L} \quad (4).$

Из формулы (3) следует, что реактивная составляющая входного тока ИЕП является током нагрузки, который определяется только параметрами колебательного контура.

## **1.2 Полупроводниковые инверторы**

В современных условиях компактные устройства на основе полупроводниковых устройств все чаще используются вместо больших устройств, и примерами этого являются инверторы. Инвертор предназначен для преобразования энергии постоянного тока (аккумулятор) в переменный ток (обычно синусоидальный или прямоугольный сигнал 220 В 50 Гц). С точки зрения непрофессионала, инвертор - это устройство, которое преобразует постоянный ток (DC) в переменный ток (AC). Он состоит из инверторного моста, логики управления и цепи фильтра. Проще говоря, инвертор - это генератор, который периодически меняет напряжение и может регулировать частоту и величину напряжения, его форма может быть синусоидальной, близкой к синусоидальной или импульсной [4].

К свойствам инверторов можно отнести:

1. Высокая эффективность преобразования и быстрый запуск;
2. Хорошие показатели безопасности: устройство имеет функции защиты от таких явлений, как короткое замыкание, перегрузка, высокое напряжение, низкое напряжение и перегрев;
3. Хорошие физические свойства: продукт имеет полностью алюминиевый корпус, который обладает хорошими характеристиками рассеивания тепла, жесткой окислительной обработкой на поверхности, хорошей стойкостью к трению и может противостоять экструзии или воздействию определенных внешних сил;
4. Сильная адаптивность и стабильность с нагрузкой



5. Допустимый уровень высших гармонических составляющих в кривой выходного напряжения и отсутствие при работе недопустимого для других потребителей уровня пульсации на зажимах источника энергии .

Инвертор - это преобразователь постоянного тока в переменный, фактически процесс преобразования напряжения с преобразователем. Преобразователь преобразует напряжение переменного тока энергосистемы в стабильный выходной сигнал 12 В постоянного тока, в то время как инвертор преобразует выходное напряжение 12 В постоянного тока источника питания в высокочастотный высоковольтный переменный ток, обе части также используют большую ширину импульса. Технология модуляции (ШИМ). Основной частью является встроенный контроллер ШИМ. В преобразователе используется микросхема TL5001. Диапазон рабочего напряжения TL5001 составляет 3,6 ~ 40 В. Внутри находятся усилитель ошибки, регулятор, генератор, генератор ШИМ с контролем мертвой зоны, цепь защиты от низкого напряжения и схема защиты от короткого замыкания. ШИМ-контроллер: Он состоит из следующих функций: внутреннего опорного напряжения, усилитель ошибки, генератора и ШИМ, защиты от перенапряжения, пониженного напряжения, защита от короткого замыкания, выходного транзистора.[5].

Сам инвертор потребляет часть энергии, когда он работает, поэтому его входная мощность больше, чем его выходная мощность. КПД инвертора - это отношение выходной мощности инвертора к входной мощности, то есть КПД инвертора - это выходная мощность по сравнению с входной мощностью. Если инвертор вводит 100 Вт постоянного тока и выдает 90 Вт переменного тока, то его КПД составляет 90%.

По принципу действия инвертор делится на:

Автономных инвертор(АИ) - это инвертор, который подключает ток в цепи тока к сети на стороне переменного тока без непосредственного подключения к нагрузке; зависимые инверторы (ЗИ) - инвертор, который позволяет току в цепи тока напрямую подключаться к нагрузке (то есть преобразовывать мощность постоянного тока в определенную частоту или переменную мощность переменного тока в нагрузке) без подключения к сети на стороне переменного тока. В роли переключательных элементов в АИ нашли широкое применение все виды транзисторов, а также стандартные и двухоперационные тиристоры. Транзисторные ключи на биполярных и полевых транзисторах применяются в устройствах небольшой и средней мощности. Тиристоры и IGBT чаще используют в мощных схемах.

Существуют три типа автономных инверторов:

- Инверторы напряжения (АИН);
- Инверторы тока (АИТ);
- Резонансные инверторы (АИР).

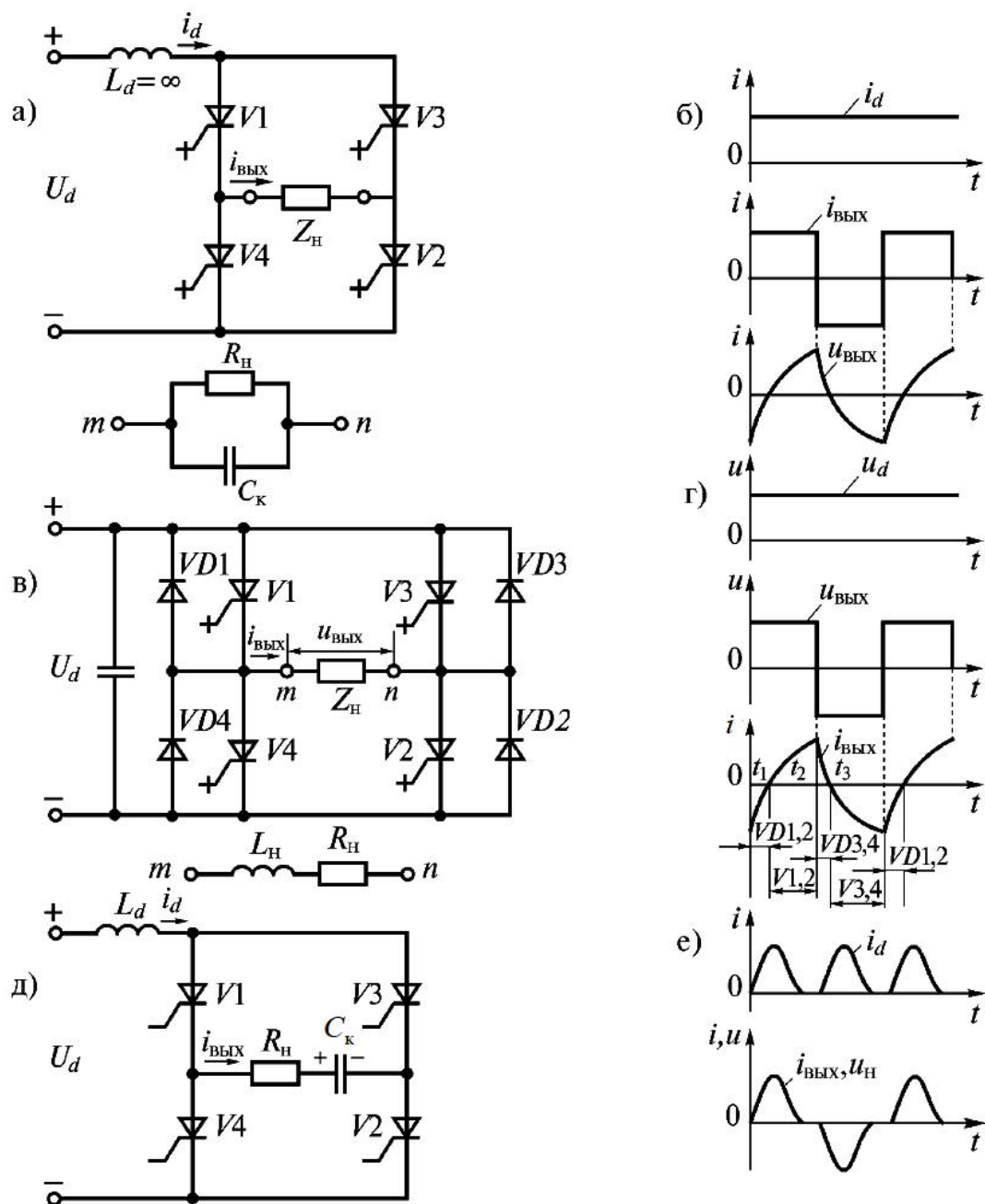


Рисунок 5 – Принципиальные схемы идеальных автономных инверторов тока(а), напряжения(в), резонансного(д) и диаграммы напряжений и токов, иллюстрирующие их работу.

В зависимости от способа управления ключевыми элементами различают следующие типы инверторных схем: управляемые преобразователи и преобразователи с самовозбуждением (автогенераторные схемы). В первом случае в схему вводят специальные системы управления для ключевых

элементов. Наоборот, полупроводниковые ключи в автогенераторных схемах управляются за счет положительной обратной связи по току или напряжению.

Инверторы напряжения могут иметь несколько разновидностей (рис.6):

- двухтактный инвертор;
- мостовой инвертор;
- полумостовой инвертор.

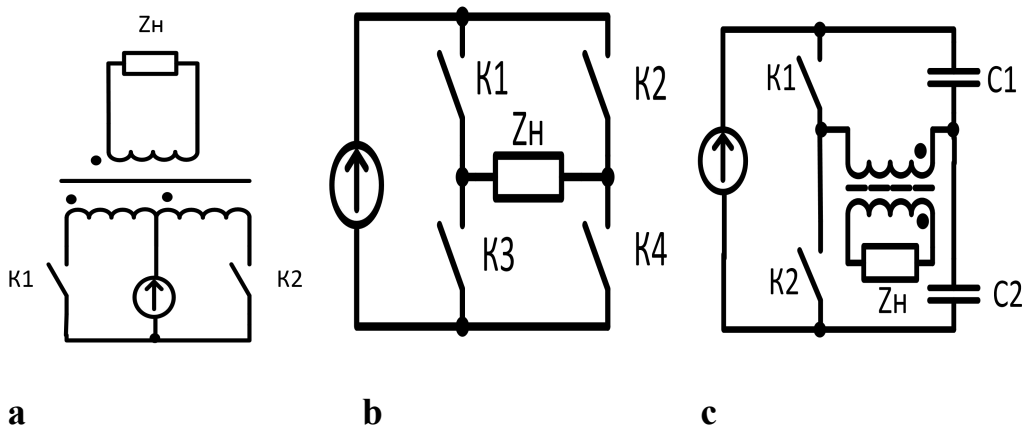


Рисунок 6 – Принципиальные схемы инверторов напряжения:

а)-двухтактный; б)- мостовой; в)-полумостовой.

Отличительной особенностью схемы двухтактного инвертора (рис.6.а) является то, что источник постоянного напряжения подключен к средней точке трансформатора. Следовательно, за каждый полупериод напряжения на выходе работает один ключ и одна полуобмотка трансформатора. У данной схемы наибольший КПД и низкий уровень пульсаций за счет уменьшения тока в первичной обмотке. Недостатком данной схемы является то, что напряжение на запертом ключе достигает значения  $2U_{\text{пит}}$ . В мостовом инверторе (рис.6.б) ключи работают по диагонали (K1,K4) и (K2,K3). Напряжение на ключах не превышает напряжения питания ( $U_{\text{пит}}$ ). У полумостового инвертора (рис.6.в) вместо ключевых элементов одной стойки (K2,K4) стоят конденсаторы C1 и C2. При этом напряжение на первичной обмотке трансформатора не превышает значения  $U_{\text{пит}}/2$ .

Для инвертирования будет использоваться схема двухтактного инвертора из-за простоты реализации и наибольшего КПД. В качестве ключевых

элементов в схеме инвертора будут применяться полевые транзисторы. Согласно техническому заданию, напряжение источника питания составляет 12 В, а напряжение питания люминесцентной лампы в соответствии со справочными данными превышает 100 В. Для получения напряжения необходимого уровня на выходе инвертора необходимо использовать повышающий трансформатор напряжения[6].

### **1.3 Люминесцентная лампа**

Люминесцентная лампа является газоразрядным источником света, который излучает свет через дуговой разряд. Разряд в парах ртути генерирует ультрафиолетовое излучение, которое благодаря люминофору преобразуется в видимый свет. Световая эффективность люминесцентных ламп в несколько раз выше, чем у обычных ламп накаливания при одинаковой мощности.

Люминесцентные лампы нашли широкое применение в бытовом освещении помещений, и их популярность продолжает расти, вытесняя с рынка привычные для нас лампы накаливания.

По сравнению с лампами накаливания, люминесцентные лампы обладают следующими преимуществами[15] :

Высокий уровень светоотдачи и более высокий КПД;

разнообразие оттенков света; рассеянный свет;

длительный срок службы (2000—20000 часов в отличие от 1000 у ламп накаливания).

В отличие от ламп накаливания, люминесцентная лампа не может быть напрямую подключена к сети. Поскольку высокое сопротивление нити накала в невозбужденном состоянии требует использования высоковольтных импульсов для зажигания разряда, а если в цепи нет дополнительного сопротивления, отрицательное дифференциальное сопротивление лампы после разряда вызовет короткое замыкание [6].

Решением данных проблем является применение специальных устройств – балластов (Пуско-Регулирующих Аппаратов). На сегодняшний день выделяют две основных схемы включения газоразрядных ламп: с электромагнитным балластом (ЭмПРА) и неоновым стартером, и с электронным балластом (ЭПРА). Рассмотрим данные схемы более подробно.

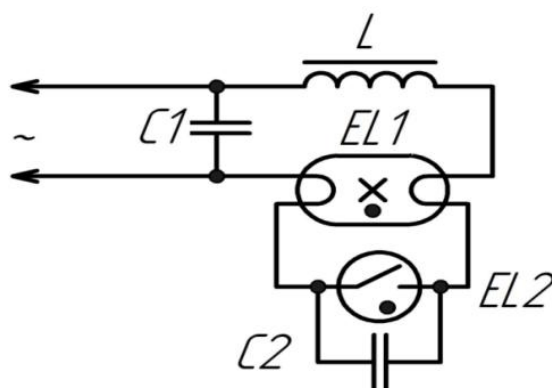


Рисунок 7 – Типовая схема включения люминесцентных ламп через балласт (C1 – фильтрующий сетевой конденсатор; L – балластный дроссель; EL1 – люминесцентная лампа; EL2 – стартер с биметаллическими электродами; C2 – балластный конденсатор)

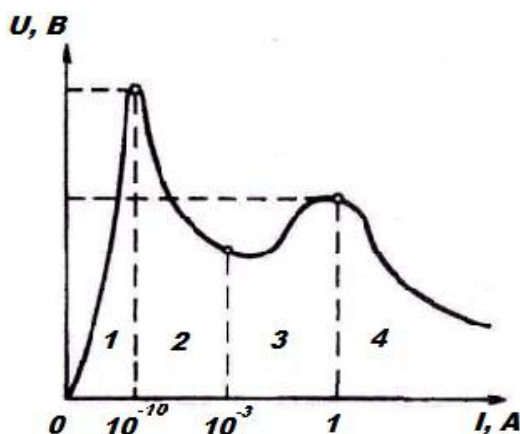


Рисунок 8 – ВАХ электрического разряда в газе (1 – несамостоятельный лавинный, 2 – таунсендовский, 3 – тлеющий, 4 - дуговой)

Дуговой разряд является одним из видов стационарного электрического разряда в газах. Данный вид разряда был впервые получен в 1802 г. ученым В.В. Петровым между двумя электродами из угля в воздухе. Название обусловлено дугообразной формой светящегося токового канала. Дуговой разряд получают с помощью ионизации газа в разрядном промежутке либо с помощью так называемого вспомогательного поджигающего электрода, либо путем разогрева одного или обоих электродов до высокой температуры. Также дуговой разряд может возникнуть в результате электрического пробоя в разрядном промежутке при резком кратковременном росте напряжения между электродами. В случаях, когда пробой происходит при близком к атмосферному давлении газа, дуговому разряду предшествует искровой разряд[16].

## 2 Объект и методы исследования

На основе обзора литературы проведен сравнительный анализ и выбрана принципиальная схема проектируемого устройства (рис. 9)[17].

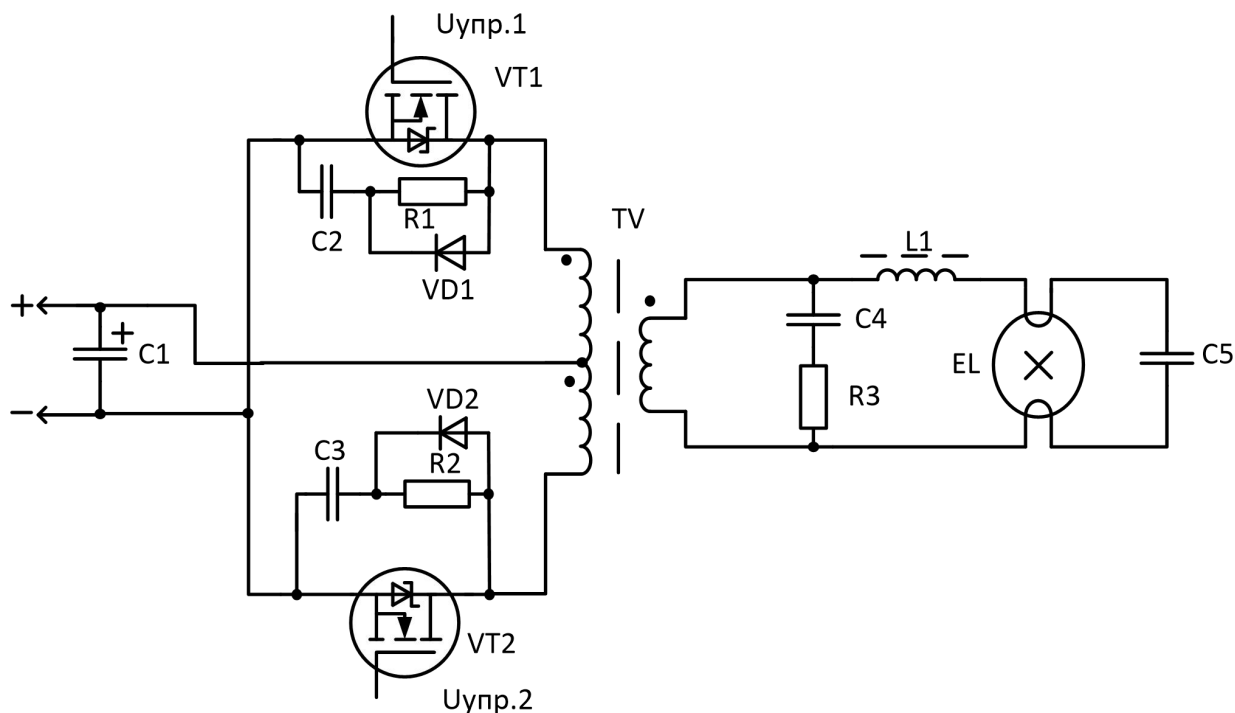


Рисунок 9 — Принципиальная схема преобразователя

Наиболее универсальными схемами полупроводниковых инверторов являются схемы управляемых транзисторных или тиристорных инверторов: мостовая, полумостовая и со средней точкой трансформатора. Главным достоинством таких схем является конструктивная простота. В схеме устройства задачу инвертирования входного постоянного напряжения выполняет двухтактный инвертор, выполненный на транзисторах VT1 и VT2.

Для снижения динамических потерь при выключении силовых транзисторов в схему дополнительно введены демпфирующие *RCD*-цепочки на элементах R1-C2-VD1 и R2-C3-VD2.

В устройствах, где требуется получение стабильного тока высокой частоты, активно используется совместное включение однофазных индуктивно-емкостных преобразователей и полупроводниковых инверторов.



Однако прямоугольная форма выходного сигнала инвертора обуславливает ряд особенностей, которые необходимо учитывать при расчете инвертора и индуктивно-емкостного преобразователя. Исследования показали [2, с.30], что наилучшими показателями при питании от источников сигнала с большим содержанием высших гармоник, обладают преобразователи, выполненные по Г-образной схеме Бушера с предвключенной индуктивностью.

Работает схема следующим образом. В момент подачи напряжения питания транзисторы закрыты, напряжение на коллекторах равно напряжению питания. В некоторый момент времени на базу транзистора VT1 подается управляющее напряжение  $U_{упр1}$ , сформированное от системы управления транзисторами. Транзистор VT1 отпирается, и через коллекторную цепь VT1 потечет ток, проходящий также через одну из полуобмоток трансформатора TV. Данный ток приведет к индуцированию ЭДС в обмотках трансформатора TV. Далее, транзистор VT1 запирается, а транзистор VT2 отпирается и по коллекторной цепи VT2 начинает протекать ток, который индуцирует ЭДС другой полярности в обмотке трансформатора TV. Затем транзистор VT2 запирается и все процессы периодически повторяются. Частота работы устройства задается импульсным генератором управляющих сигналов и выбирается равной резонансной частоте колебательного контура, подключенного к вторичной обмотке трансформатора.

Последовательно с вторичной обмоткой трансформатора включен токоограничительный дроссель L, который образует с конденсатором C5 резонансный контур. При появлении напряжения на вторичной обмотке трансформатора TV в контуре L, C5 и EL появляется напряжение ударного возбуждения, которого вполне достаточно для зажигания ЛЛ. После зажигания, добротность контура падает за счет шунтирования лампы конденсатора C5.

Структурная схема формирователя сигналов управления приведена на рис10.

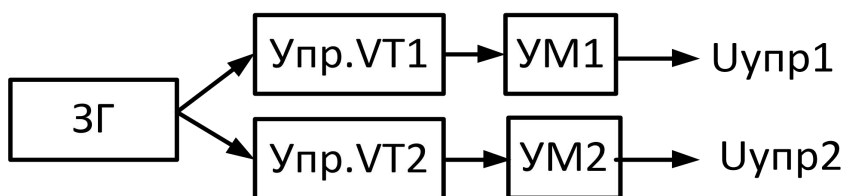


Рисунок 10— Структурная схема формирователя сигналов управления  
приведена

ЗГ – задающий генератор, который необходим для тактирования формирователя.

Упр.VT1 и Упр.VT2 – формирователи сигнала управления для каждого транзистора с необходимыми параметрами.

УМ1 и УМ2 – усилители мощности, которые усиливают сигнал управления до заданного уровня для того, чтобы управлять транзисторами.

В качестве схемы задающего генератора будем использовать схему генератора на логических элементах из-за простоты реализации и дешевизны.

Принципиальная схема системы управления транзисторами приведена на рис 11. В качестве УМ будет использоваться драйвер для управления силовыми транзисторами[18].

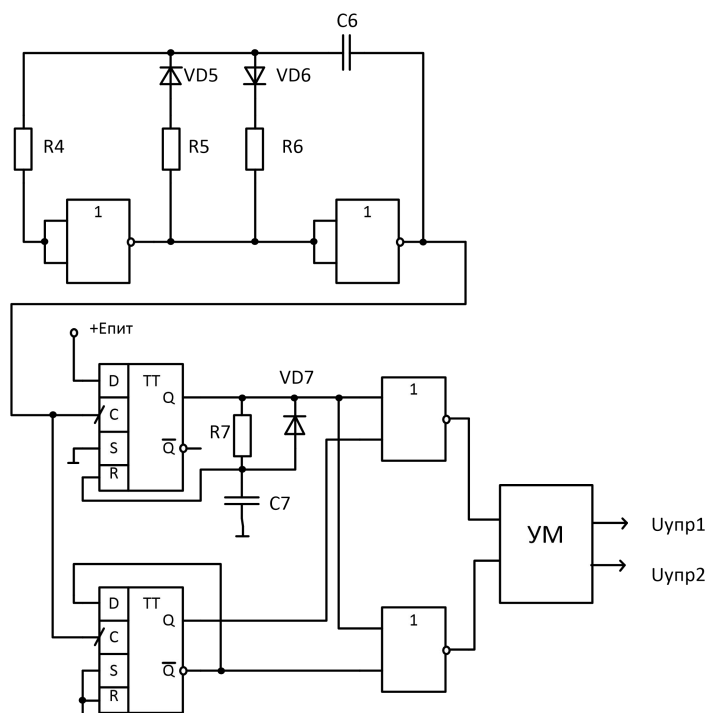
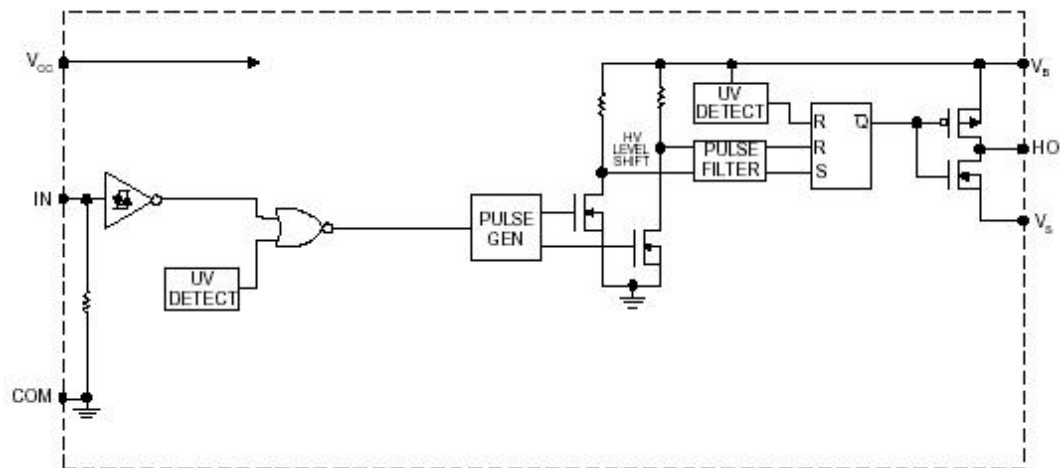


Рисунок 11 – Принципиальная схема системы управления

Драйвер представляет собой усилитель мощности, предназначенный для непосредственного управления ключом питания (иногда ключом) преобразователя. Он должен усиливать управляющий сигнал в зависимости от мощности и напряжения и обеспечивать его потенциальную изоляцию при необходимости.

В качестве драйвера будем использовать микросхему IR2117 со следующими параметрами[11]:



- Выходные каналы разработаны для нагруженного функционирования
- Работоспособность до +600V
- Нечувствительность к отрицательному переходному напряжению
- Нечувствительность к  $dV/dt$
- Напряжение питания драйверов 10...20V
- Блокировка при снижении напряжения
- КМОП триггеры Шмита на входах с привязочными резисторами к общему проводу
- Выход в фазе со входом (IR2117) и в противофазе (IR2118)
- $V_{OFFSET}$  не более 600V
- $IO_{\pm}$  200 mA / 420 mA
- $V_{OUT}$  10 – 20V
- $t_{on/off}$  (тип.) 125 / 105 нс

Рисунок 12 - Блок-схема IR2117 И его таблица параметров

Схема подключения драйвера к транзистору приведена на рис 13.

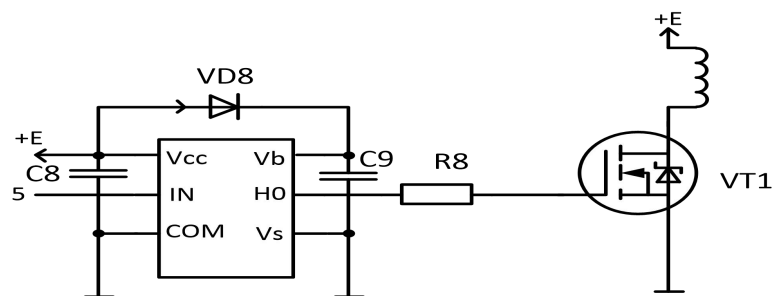


Рисунок 13 – Схема подключения драйвера к транзистору

VCC	Питание логики и драйвера
IN	Логический вход задающий состояние выхода драйвера (HO) в фазе с HO (IR2117)
/IN	Логический вход задающий состояние выхода драйвера (HO) в противофазе с HO (IR2118)
COM	Общий логики
VB	Плавающее питание высокой стороны
HO	Высоковольтный выход драйвера
VS	Возврат плавающего питания высокой стороны

Рисунок 14 -- Функциональная схема контактов IR2117.

Выходной узел накопителя должен соответствовать следующим требованиям[7]:

1. MOSFET и IGBT - это полупроводниковые устройства, которые работают в режиме электронного ключа. Они контролируются напряжением. Тем не менее, соответствующий заряд должен быть введен в его схему затвора, чтобы быстро включить транзистор.

2. Динамические характеристики переключателя зависят от скорости перезарядки паразитной емкости транзистора. Импульсный ток управления для зарядки конденсатора определяет минимальное время переключения.

3. Последовательные резисторы должны использоваться в цепи затвора, чтобы ограничить текущую скорость нарастания и уменьшить динамический шум.

### 3 Расчет и анализ

В качестве нагрузки используется люминесцентная лампа со следующими параметрами:

Таблица 1 – Технические характеристики лампы ЛБ-40 [3]

Наименование	Мощность, Вт	Ток, А	Напряжение, В	Световой поток, лм
ЛБ-40	40	0,43	103	2800

Необходимо произвести расчет принципиальной схемы по следующим данным:

- Напряжение питания  $E_{\text{пит}} = 12 \text{ В}$ ;
- Частота преобразования  $f = 24 \text{ кГц}$ ;
- Номинальное рабочее напряжение лампы  $U_{\text{л}} = 103 \text{ В}$ ;
- Номинальный рабочий ток лампы  $I_{\text{л}} = 0,43 \text{ А}$ ;

#### 3.1 Расчет ИЕП

В качестве ИЕП используется Г-образная схема, на рис 15.

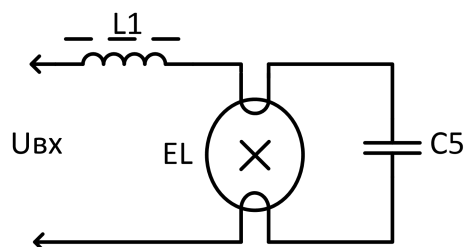


Рисунок 15 – Схема ИЕП

1. Сопротивление лампы в режиме работы:

$$R_{\text{л}} = \frac{U_{\text{л}}}{I_{\text{л}}} = \frac{103\text{В}}{0,43\text{А}} = 239,53\text{ Ом}$$

(1)

1. Амплитудное значение тока лампы:

Форма тока, протекающего через лампу, в рабочем режиме близка к синусоидальной.

$$I_{\text{лт}} = I_{\text{л}} \cdot \sqrt{2} = 0,43\text{А} \cdot \sqrt{2} = 0,608\text{А}$$

(2)

2. Расчет дросселя L:

Амплитуда тока через лампу определяется формулой

$$I_{\text{лт}} = \frac{U_{\text{вхт}}}{\omega_0 L} \quad (3).$$

Выразим L и найдем ее величину:

$$L = \frac{U_{\text{вхт}}}{\omega_0 I_{\text{лт}}} = \frac{150\text{В}}{2 \cdot \pi \cdot 24 \times 10^3 \text{Гц} \cdot 0,608\text{А}} = 1,636 \text{ мГн}$$

(4)

Рассчитываемый дроссель работает на частоте 24 кГц, поэтому в качестве материала для сердечника выберем Мо-пермаллой[13].

Максимальная энергия, запасаемая в дросселе:

$$W_{L\text{max}} = \frac{L \cdot I_{L\text{max}}^2}{2} = \frac{1,636 \times 10^{-3} \text{Гн} \cdot 0,608^2 \text{А}^2}{2} = 0,302 \text{ мДж}$$

(5)

Для Мо-пермаллоя МП140 [5]:

$$W_{\text{уд}} = 0,5 \cdot \Delta B \cdot \Delta H = 0,5 \cdot 0,4 \cdot 2400 = 480 \text{ Дж / м}^3$$

(6)

Требуемый объем магнитопровода:

$$V_{\text{магн}} = \frac{W_{\text{max}}}{W_{\text{уд}}} = \frac{0,302 \times 10^{-3} \text{Дж}}{480 \text{Дж / м}^3} = 629 \times 10^{-9} \text{ м}^3$$

(7)

Требуемое количество колец  $K36 \times 25 \times 7,5$

$$V_{\text{магн}} = 3,641 \text{ см}^3 = 3,641 \times 10^{-6} \text{ м}^3$$

Параметры сердечника  $K36 \times 25 \times 7,5$  [5]

D=36 мм	$S_0 = 4,908 \text{ см}^2$	$S_c \cdot S_o = 1,865 \text{ см}^4$ $V_c = 3,641 \text{ см}^3$
d=25 мм	$S_c = 0,38 \text{ см}^2$	
h=7,5 мм	$l_c = 9,58 \text{ см}$	

Число витков:

$$W = \frac{\sqrt{l_{cp} \cdot L \cdot \Delta H}}{S_c \cdot \Delta B} = \frac{\sqrt{95,8 \times 10^{-3} \text{ м} \cdot 1,636 \times 10^{-3} \text{ Гн} \cdot 2400}}{0,38 \times 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot 0,4 \text{ Тл}} = 158 \text{ витков} \quad (8)$$

3. Расчет конденсатора С5:

$$C = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^2 \cdot L} = 26,88 \text{ нФ} \quad (9)$$

Выбираем из справочника [12] конденсатор С5:

С5: К15-5-Н70-0,015 мкФ×3 кВ±10%

В результате расчета схемы индуктивно-емкостного преобразователя получили выходные параметры трансформатора:  $U_{2m}=150 \text{ В}$ ,  $I_2 = 0,43 \text{ А}$ .

### 3.2 Расчет трансформатора

Напряжение на первичной обмотке трансформатора:

$$U_{1m} = U_{num} - U_{DS} = 12 \text{ В} - 2 \text{ В} = 10 \text{ В} ; \quad (10)$$

1) Напряжение на вторичной обмотке трансформатора:

$$U_{2m} = 150 \text{ В} ;$$

2) Ток на вторичной обмотке трансформатора  $I_2 = 0,43 \text{ А}$ ;

3) Частота:  $f = 24 \text{ кГц}$

Нужно выбрать феррит в качестве материала сердечника. Из ссылки [12] нам необходимо выбрать феррит 2000НМ1 со следующими параметрами:

$\Delta B = 0,2 \text{ Тл}$  – магнитная индукция;

$\mu = 2000$  – магнитная проницаемость феррита;

$j = 4 \text{ А / мм}^2$  – плотность тока в обмотках;

$K_{cm} = 1$  – коэффициент заполнения стали;

$K_{0к} = 0,3$  – коэффициент заполнения окна медью;

$\eta = 0,9$  – коэффициент полезного действия;

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Гн / м}$  – магнитная проницаемость вакуума.

1.

$$\text{Коэффициент трансформации: } n = \frac{U_{2m}}{U_{1m}} = \frac{150 \text{ В}}{10 \text{ В}} = 15 \quad (11)$$

2. Амплитуда тока, протекающего во вторичной обмотке:

$$I_{2m} = 0,43 A \cdot \sqrt{2} = 0,608 A$$

(12)

3. Амплитуда тока первичной обмотки:

$$I_{1m} = I_{2m} \cdot n = 0,608 \cdot 15 A = 9,12 A$$

(13)

4. Определяем мощность:

$$P_n = P_2 = U_2 \cdot I_2 = 150 B \cdot 0,43 A = 64,5 Bm$$

(14)

$$5. S_o \cdot S_{cm} = \frac{2 \cdot P_n \cdot \sqrt{\gamma}}{\Delta B \cdot j \cdot f \cdot K_{ок} \cdot K_{cm} \cdot \eta} \quad (15)$$

$$S_o \cdot S_{cm} = \frac{2 \cdot 64,5 Bm \cdot \sqrt{0,5}}{0,2 Tл \cdot 4 \times 10^6 \frac{A}{M^2} \cdot 24 \cdot 10^3 Гц \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 0,9} = 17,5958 M^4 = 17595,8 мм^4 \quad (16)$$

6. Выбор сердечника.

Из справочника [6] выбираем сердечник:  $K45 \times 28 \times 8$ . Выбранный сердечник является кольцевым с прямоугольным поперечным сечением.

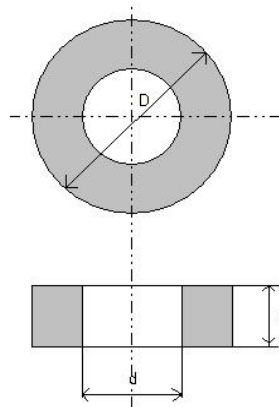


Рисунок 16— Кольцевой сердечник

Данный сердечник имеет следующие параметры[6]:

$$S_o = 6,158 \times 10^{-4} M^2$$

$$S_{cm} = 6,8 \times 10^{-5} M^2$$

$$D = 45 мм$$

$$d = 28 мм$$

$$h = 8 мм$$

$$l_{срн} = 114,61 мм = 114,61 \times 10^{-3} м$$



7. Рассчитываем количество витков первичной и вторичной обмоток:

$$W_1 = \frac{U_{lm} \cdot t_u}{\Delta B \cdot S_{cm} \cdot K_{cm}} = \frac{10 \text{ В} \cdot 2,083 \times 10^{-5} \text{ с}}{0,2 \text{ Тл} \cdot 204 \times 10^{-6} \text{ м}^2} \cong 5 \text{ витков} \quad (17)$$

$$W_2 = W_1 \cdot n = 75 \text{ витков}. \quad (18)$$

Чтобы уменьшить количество оборотов, мы используем три ядра типа 2000NM1.  $K45 \times 28 \times 8$ .

8. Произведём расчёт и выбор проводов первичной и вторичной обмоток:

$$S_1 = \frac{I_1}{j} = 1,61 \text{ мм}^2 \quad (21) \quad D_1 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_1} = 1,4 \text{ мм} \quad (22)$$

$$S_2 = \frac{I_2}{j} = 0,107 \text{ мм}^2 \quad D_2 = \sqrt{\frac{4}{\pi} \cdot S_2} = 0,369 \text{ мм}$$

Из справочника [14] выбираем провода ПЭВ-2:

$$\begin{array}{ll} S_1 = 2,269 \text{ мм}^2 & D_1 = 1,7 \text{ мм} \\ S_2 = 0,385 \text{ мм}^2 & D_2 = 0,7 \text{ мм} \end{array}$$

9. Проверка  $K_{ок}$ :

$$K_{ок} = \frac{W_1 \cdot S_1 + W_2 \cdot S_2}{S_{ок}} = \frac{(5 \cdot 2,269 \text{ м}^2 + 75 \cdot 0,385 \text{ м}^2) \times 10^{-6}}{6,158 \times 10^{-4} \text{ м}^2} = 0,065 < 0,3 \quad (23)$$

Из формулы (23) можно узнать, что полученный коэффициент заполнения составляет менее 0,3, что доказывает правильность расчета и выбора материалов.

10. Расчет индуктивности намагничивания:

$$L_{\mu} = \frac{\mu_0 \cdot \mu \cdot S_{cm} \cdot W_1^2}{l_{срн}} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \cdot 2000 \cdot 204 \times 10^{-5} \text{ м}^2 \cdot 5^2}{114,61 \times 10^{-3} \text{ м}} = 1,18 \text{ мГн} \quad (24)$$

11. Расчет индуктивности рассеивания:

$$L_s = \frac{\mu_0 \cdot l_g \cdot W_1^2}{l_{срн}} \left( \Delta_{из} + \frac{D_1 + D_2}{3} \right) = 1,27 \text{ мкГн} \quad (25)$$

$$l_B = \left( \frac{D}{2} + h \right) + \left( \frac{D-d}{2} + h \right) = 38,5 + 24,5 = 63 \text{ мм} \quad (26)$$

12. Расчет паразитной емкости:

$$C_{12} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot l_{\text{срн}} \cdot l_{\text{г}}}{\Delta_{\text{из}}} = \frac{8,85 \times 10^{-12} \cdot 4 \cdot 14,61 \times 10^{-3} \cdot 40 \times 10^{-3}}{0,08 \times 10^{-3}} = 1,335 \times 10^{-9} \text{ Ф} \quad (27)$$

$$C_n = \frac{C_{12}}{3} (n-1)^2 = 4,953 \times 10^{-8} \text{ Ф} \quad (28)$$

### 3.3 Выбор транзисторов

По полученному значению тока первичной обмотки, рабочей частоте и напряжению возможен выбор транзистора.

Выбираем MOSFET – транзистор. Трубка с полевым эффектом может работать в условиях очень малого тока и очень низкого напряжения, а процесс ее изготовления может легко интегрировать множество ламп с полевым эффектом на кремниевом чипе, поэтому трубка с полевым эффектом получается в крупномасштабной интегральной схеме широко используемой. Полевые транзисторы являются элементами управления напряжением, а транзисторы с биполярным переходом являются элементами управления током. В случае, когда допускается брать только меньший ток, следует выбирать трубку с полевым эффектом, а при условии, что напряжение сигнала ниже и можно брать больше тока из источника сигнала, следует выбирать биполярный транзистор. Этот тип транзистора отличается в первую очередь минимальной мощностью управления на выходе. Также следует отметить, что значение сопротивления в открытом состоянии очень мало (одна десятая Ом, а выходной ток составляет десятки ампер), поэтому минимальная мощность, выделяемая транзистору в виде тепла.

По сравнению с биполярными транзисторами преимущества MOSFET-транзисторов включают в себя: высокий коэффициент усиления тока и минимальную мощность управления для обеспечения простоты схемы управления, высокую скорость переключения и минимальную задержку выключения для обеспечения широкого диапазона безопасной работы; Простые

транзисторы увеличивают возможность выходной мощности, могут выдерживать большие импульсные напряжения.

Параметры для выбора транзистора:

$$I_{ds(on)} \geq I_{ds} = 9,12 A;$$

$$U_{ds(max)(on)} \geq 2 \cdot U_n = 24 B;$$

$$f \geq f_{раб} = 24 кГц.$$

Этим параметрам удовлетворяет транзистор IRF530PBF. Технические параметры этого транзистора приведены ниже

Технические параметры IRF530PBF [8]:

Структура	n-канал
Максимальное напряжение сток-исток $U_{си}$ , В	100
Максимальный ток сток-исток при 25 С $I_{си макс.}$ А	15
Максимальное напряжение затвор-исток $U_{зи макс.}$ В	±20
Сопротивление канала в открытом состоянии $R_{си}$ вкл. (Max) при $I_d$ , $R_{ds}(on)$	0.16 ом при 8.4а, 10в
Максимальная рассеиваемая мощность $P_{си макс.}$ Вт	79
Крутизна характеристики, S	5.1
Корпус	to220ab
Особенности	аудиоприложения
Пороговое напряжение на затворе	4
Вес, г	2.5

Рисунок 17– Технические параметры IRF530PBF

Чтобы защитить транзистор, мы будем использовать буферную схему. Эта схема может уменьшить амплитуду переходного технологического напряжения, которое возникает, когда силовой полупроводниковый элемент в преобразователе переключает импульсное напряжение. Кроме того, буфер может уменьшить динамические потери выключателя питания. При этом цепи снабберов изменяют траекторию переключения силового элемента: емкость снижает скорость нарастания напряжения, индуктивность – нарастания тока.

Величина Сдф определяется по формуле[8]:

$$C_{дф} = \frac{I_{ds}^2 L_s}{(U_{выбр} - U_{зандс})^2} = \frac{9,12 A^2 \cdot 1,24 \times 10^{-6} Гн}{(50 B - 24 B)^2} = 0,0167 \times 10^{-6} Ф = 16,7 нФ, (29)$$

где  $I_{ds}$  - ток сток-исток транзистора,  $L_s$  - индуктивность рассеяния трансформатора,

$U_{выбр}$  - величина выброса,  $U_{зап}$  - напряжение на запертом транзисторе.

Из справочника[18] выберем конденсатор  $C_{\phi}$  К10-176-м1500-0,022 мкФ

$$R_d \geq \sqrt{\frac{L_s}{C_{\phi}}} = \sqrt{\frac{1,24 \times 10^{-6}}{0,0167 \times 10^{-6}}} = 4 \text{ Ом} \quad \text{Возьмем } R_d = 56 \text{ Ом.} \quad (30)$$

$$\text{Расчет мощности } P_{Rd} = \frac{C_{\phi} U^2}{2} \cdot f = \frac{22 \text{ нФ} \cdot 24^2 \text{ В}^2}{2} \cdot 24 \times 10^3 \text{ Гц} = 0,1 \text{ мВт} \quad (31)$$

Выберем из справочника [9] резистор  $R_d$  С1-4-0,062-56 Ом $\pm$ 5%.

Выберем диод 1N4001 с параметрами [10]:

Материал	кремний
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	<a href="#">50</a>
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	60
Максимальный прямой(выпрямленный за полупериод) ток,А	<a href="#">1</a>
Максимально допустимый прямой импульсный ток,А	<a href="#">30</a>
Максимальный обратный ток,мкА 25гр	5
Максимальное прямое напряжение,В	1.1
при $I_{пр.}$ ,А	1
Рабочая температура,С	-65...150
Способ монтажа	в отверст.
Корпус	<a href="#">do204al</a>

Рисунок 18— диод 1N4001 с параметрами

Выберем фильтрующий конденсатор  $C1=K50-35-1000\text{мкФ} \times 63\text{В}$  с параметрами[18]:

Тип к50-35

Рабочее напряжение, В	63
Номинальная емкость, мкФ	1000
Допуск номинальной емкости, %	20

Параметры элементов подавляющих высокочастотные колебания Давиденко Н.Ю. в статье «люминесцентные лампы» рекомендуют выбрать следующие:

C4: K73-17-2200пФ×63В;

R3: C2-23-2-470 Ом±5%.

### 3.4 Расчет схемы управления транзисторами

Задающий генератор (ЗГ), приведенный на рис.17, выполнен на логических элементах ИЛИ-НЕ. При выборе семейства логических микросхем учитывалась величина питающего напряжения. Напряжение питания по ТЗ равно 12В, следовательно, целесообразнее выбирать логические микросхемы КМОП технологии. Микросхема К561ЛЕ5 содержит по четыре двухвходовых базовых элемента ИЛИ-НЕ.

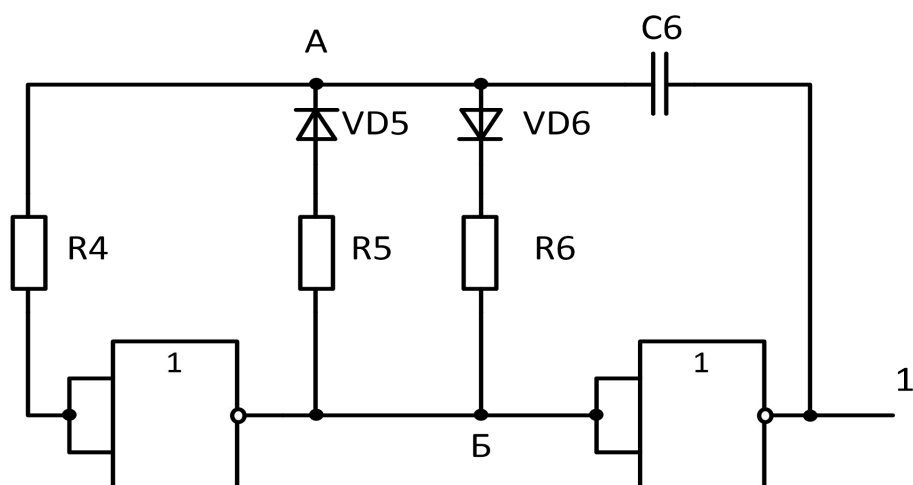


Рисунок 19–Принципиальная схема ЗГ

Период ЗГ определяется из условия, что он работает на удвоенной частоте, чем сам преобразователь.

$$T = 2 \cdot \frac{1}{f} = 8.333 \times 10^{-5} \text{ c}$$

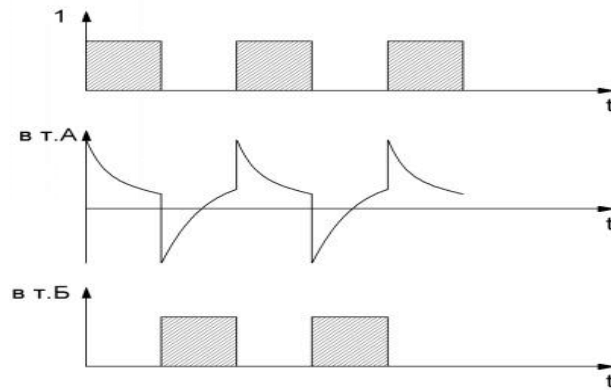


Рисунок 20 – Диаграммы работы ЗГ

Для ЗГ период работы  $T$  определяется по формуле:

$$T \cong 2.2RC \quad (33)$$

Выберем  $C6$  из ряда  $E12$  равным  $4.7 \times 10^{-9} \text{ Ф}$ , тогда

$$R_{5,6} = \frac{T}{2.2 \cdot C6} = 8.059 \times 10^3 \text{ Ом} \quad (34)$$

Выберем из ряда  $E24$   $R5$  и  $R6$  равными  $8,2 \text{ кОм}$ . Резистор  $R4$  выбирается из условия  $2R_5 \leq R_4 \leq 10R_5$ . Выберем из ряда  $E24$   $R4$  равными  $47 \text{ кОм}$ .

Для регулировки частоты будем использовать подстроечные резисторы  $R10$  и  $R11$ . И разделим номиналы резисторов  $R5$  и  $R6$ .

$C6$ : K10-176-4700 пФ×50В

$R5, R6$ : C1-4-0,5-4,7 КОм±5%

$R4$ : C1-4-0,5-47 КОм±5%

$R10, R11$ : 3296X-1-103LF

Для обеспечения задержки между сигналами управления и для того чтобы они были одинаковыми по времени, необходима схема формирователя импульсов рис 21.

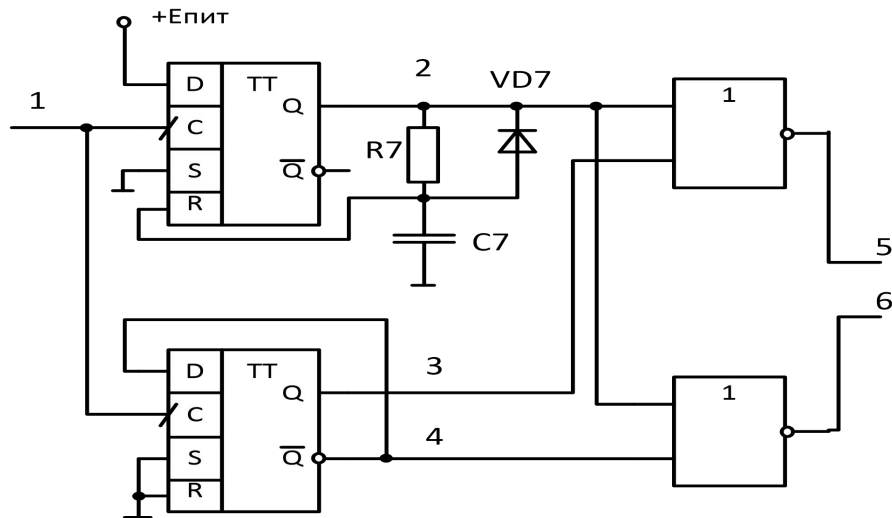


Рисунок 21 – Принципиальная схема формирователя импульсов

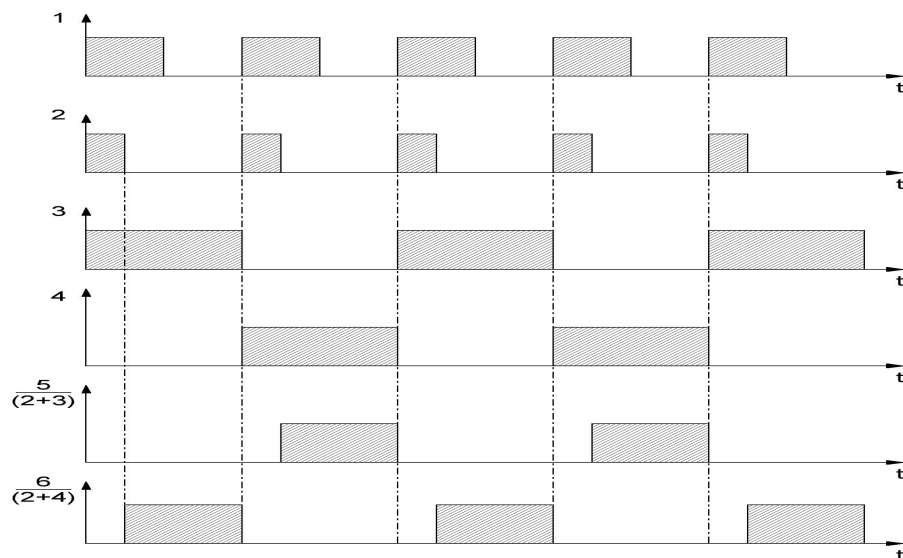


Рисунок 22 – Диаграммы работы формирователя

Цепь из R7 и C7 необходима для обеспечения задержки между переключениями транзисторов. Время задержки определяется следующим образом  $t_{зад} = -R_7 C_7 \ln(0.5)$ . Возьмем величину задержки равной  $\frac{1}{4} T$ , где T-период переключения ключей.

Выберем C7 из ряда E12 равным  $4.7 \times 10^{-9} \Phi$ , тогда

$$R_7 = \frac{t_{зад}}{-C_7 \ln(0.5)} = \frac{1 \times 10^{-5} c}{-4.7 \times 10^{-9} \cdot \ln(0.5)} = 3.07 \text{ кОм} \quad (35)$$

Выберем из ряда E24 R7 равным 3 кОм. Для регулировки задержки используем подстроечный резистор R12 последовательно с R7. C7:

K10-176-4700 пФ×50В

R7: C1-4-0,5-1 кОм±5%.

R12: 3296X-1-502LF

Выберем диод 1N5817 с параметрами[10]:

Материал	<a href="#">кремний</a>
Максимальное постоянное обратное напряжение, В	<a href="#">20</a>
Максимальное импульсное обратное напряжение, В	20
Максимальный прямой(выпрямленный за полупериод) ток,А	<a href="#">1</a>
Максимально допустимый прямой импульсный ток,А	30
Максимальный обратный ток,мкА 25гр	1000
Максимальное прямое напряжение,В	0.45
при Iпр.,А	1
Общая емкость Сд,пФ	110
Рабочая температура,С	-65...125
Способ монтажа	в отверст.
Корпус	<a href="#">do41</a>

Рисунок 23– диод 1N5817 с параметрами

В качестве драйвера будем использовать микросхему IR2117 .



Схема подключения драйвера к транзистору приведена на рис 24.

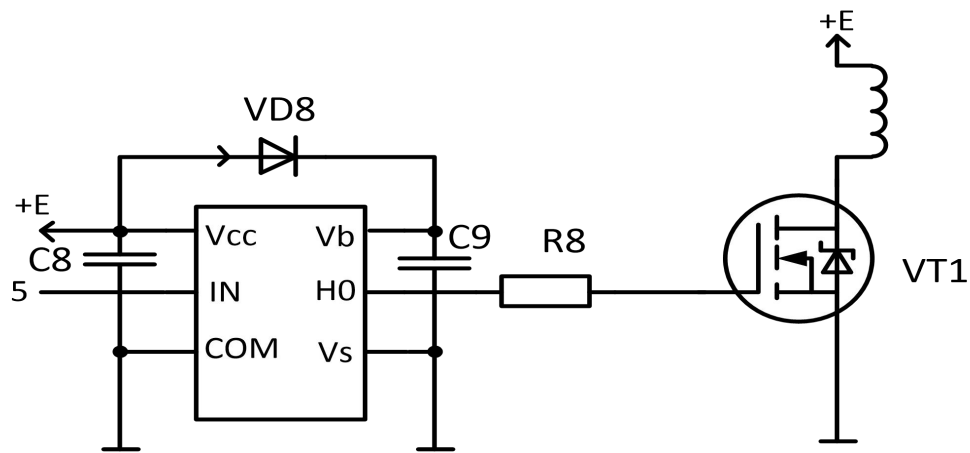


Рисунок 24– Схема подключения драйвера к транзистору

Из справочника[12] выберем конденсаторы

C8 и C9: K10-176-0,022мкФ×50 В±10%

В качестве диода VD8 будет использоваться диод Шоттки 1N5817.

Максимальный выходной ток драйвера IR2117 составляет 500 мА.

Следовательно, возможно определить минимальное сопротивление резистора

$$R8: R_{8min} = \frac{U_{\text{ббх}}}{I_{\text{бхм}}} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ мА}} = 24 \text{ Ом} \quad (36). \text{ Возьмем резистор с сопротивлением } 30 \text{ Ом.}$$

$$P_{R8} = \frac{U_{\text{ббх}}^2}{R_8} = \frac{(12 \text{ В} \cdot \sqrt{0,5})^2}{30 \text{ Ом}} = 2,4 \text{ Вт} \quad (37)$$

Выберем из справочника [10] резистор R8: C2-23-2-30 Ом±5%.

## 4 Результаты эксперимента

Для качественной оценки проведенного исследования необходимо произвести схемотехническое моделирование спроектированного устройства, для чего воспользуемся программным приложением MultiSim.

Для создания модели разработанного источника питания использовались модели электронных компонентов из библиотеки приложения. Параметры компонентов соответствовали расчетным значениям. Результаты эксперимента по моделированию позволят проверить, правильно ли работает схема.

Данное приложение позволяет строить принципиальные электрические схемы с использованием библиотек электронных компонентов, а также производить анализ построенных схем во временной и частотной областях с помощью самостоятельно прописываемых пользователем multisim-директив.

Смоделированная схема устройства в программной среде MultiSim представлена на рисунке 25.

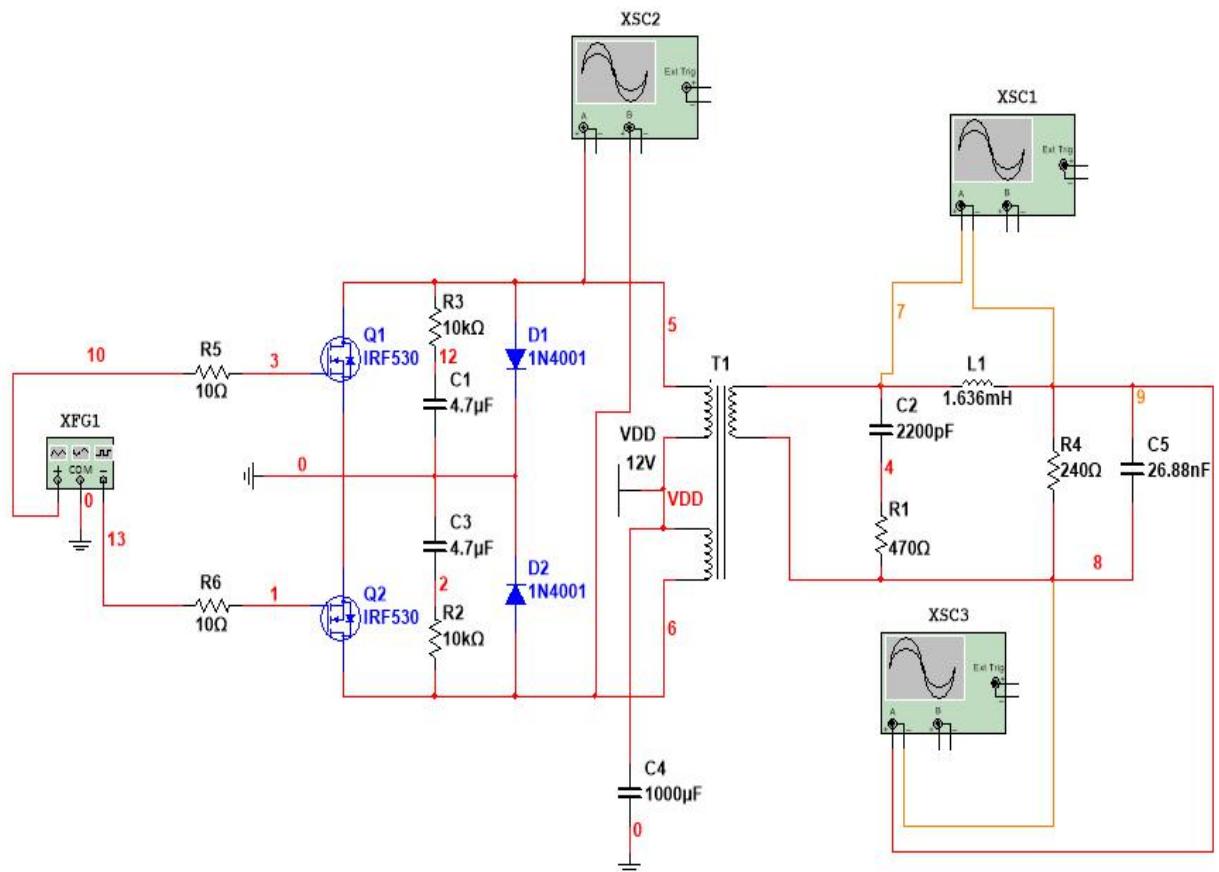


Рисунок 25 – Модель силовой части источника питания.

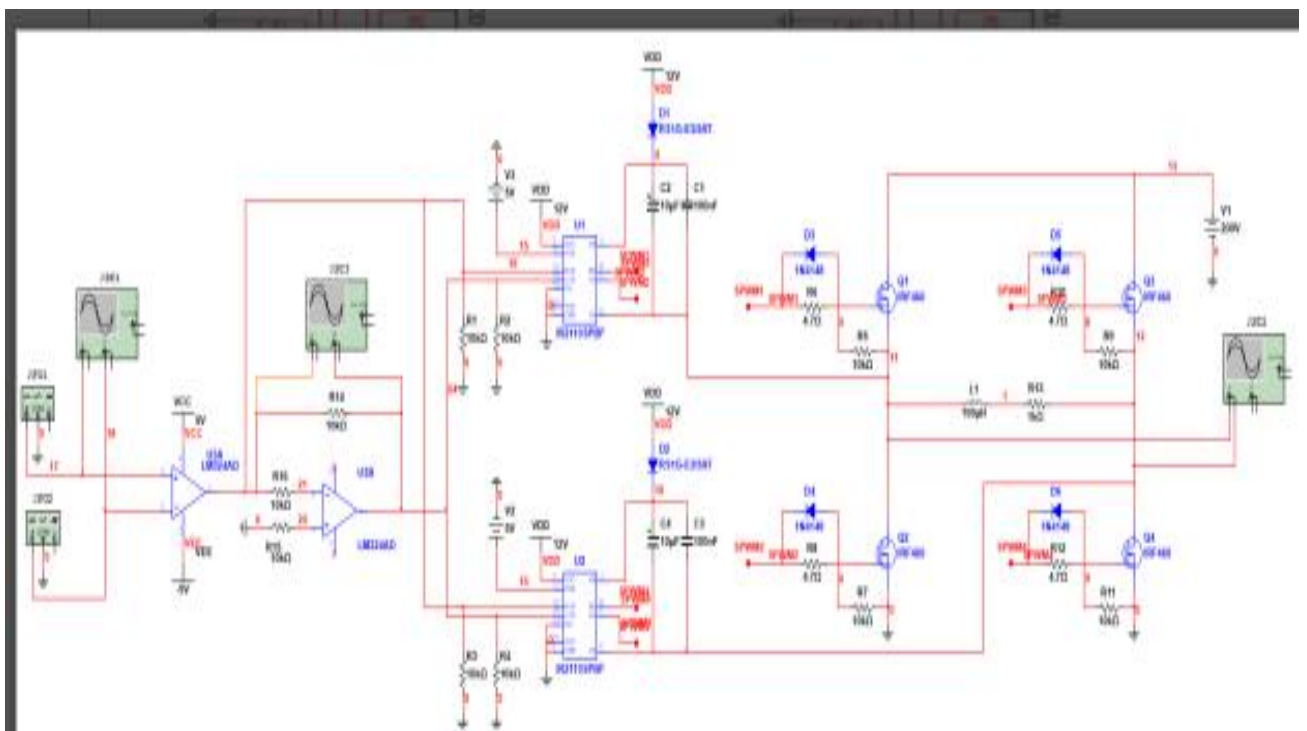


Рисунок 26– Схема моделирования системы управления.

Все параметры электронных компонентов схемы соответствуют рассчитанным.

Ниже на рисунках представлены диаграммы токов и напряжений в ключевых узлах схемы, доказывающие работоспособность спроектированного устройства.

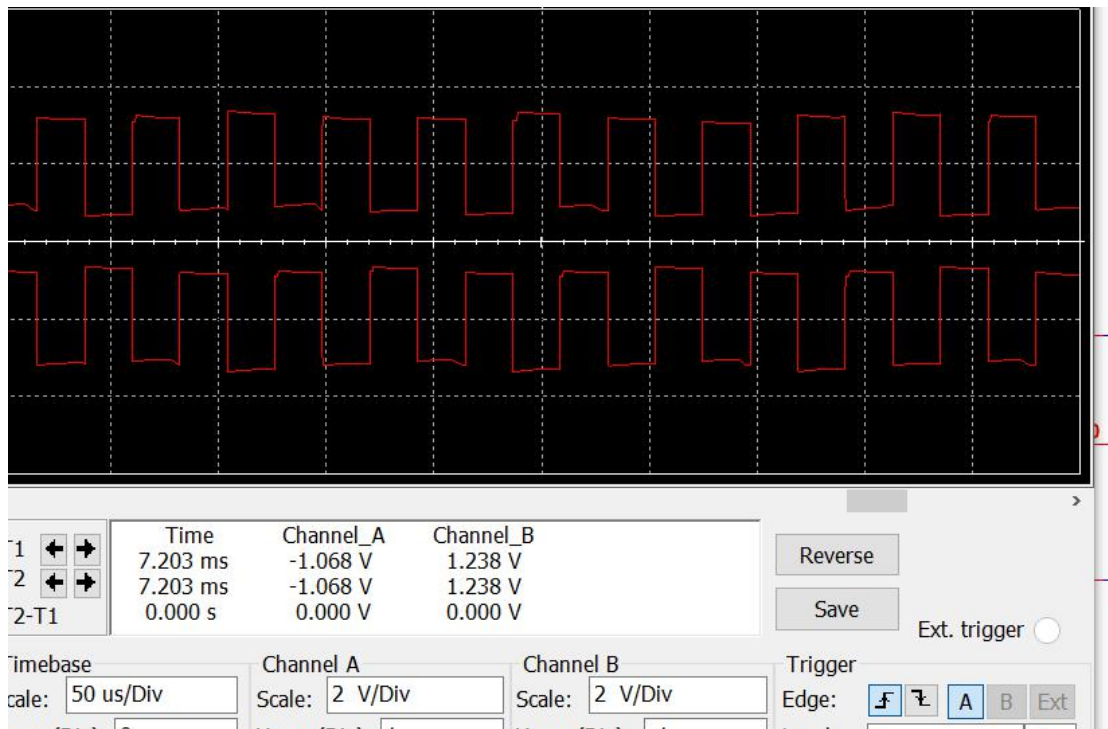


Рисунок 27 – 1 канал: – сигнал управления VT1; 2 канал: – сигнал управления VT2

Scale=50us/Div

Согласно диаграмме формы сигнала частота переменного тока составляет 24.35 КГц. Резонансная частота соответствует требованиям.

Из приведенных диаграмм видно, что транзисторы переключаются поочередно, что доказывает двухтактную работу схемы.

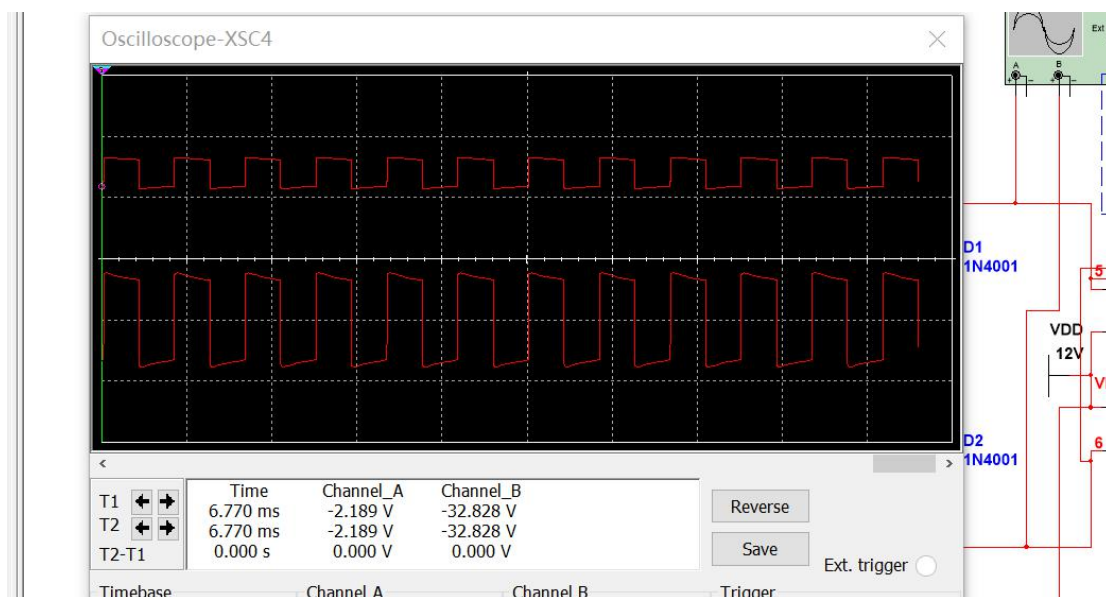


Рисунок 28 – Напряжение на обмотках трансформатора Uw1 и Uw2

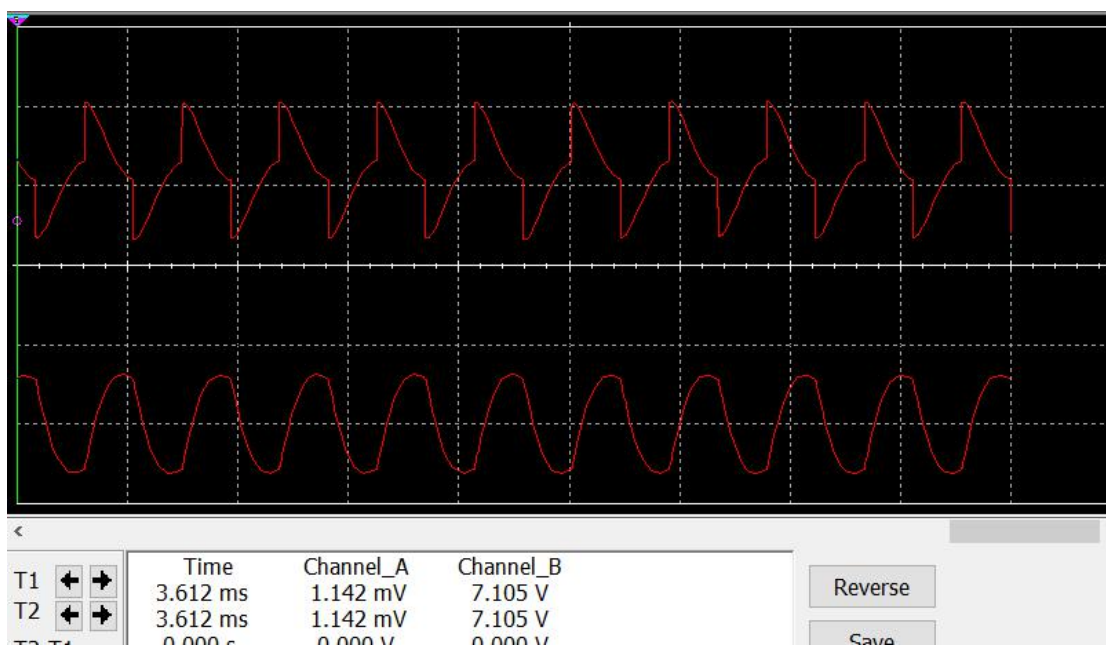


Рисунок 29 –Напряжение на дросселе L1 и ток, протекающий через дроссель. Первый - это напряжение, а второй - ток

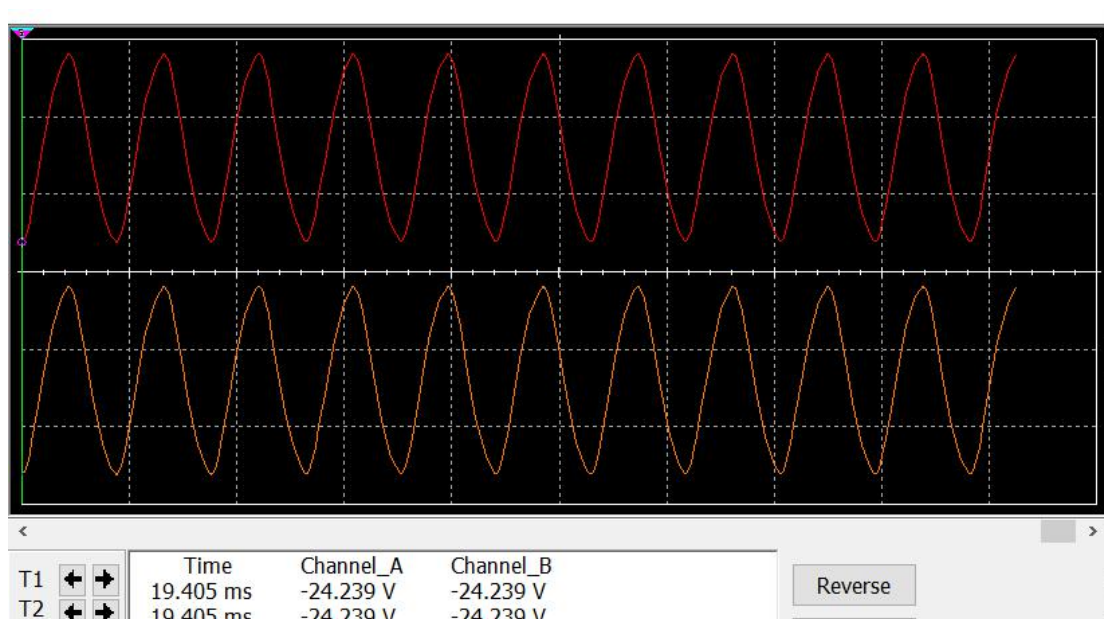


Рисунок 30 –Напряжение и ток на нагрузке  $R_H$ . Первый - это напряжение, а второй - ток.



Рисунок 31 –Напряжение и ток конденсатора  $C_5$  напряжения и тока. Первый - это напряжение, а второй - ток.

Из осциллограмм напряжений, приведенных на рис.27, можно сказать, что транзисторы работают в ключевом режиме. На выходе инвертора рис 28 напряжение практически прямоугольное, что подтверждает правильность работы инвертора.

Диаграммы на рисунке 29 доказывают работоспособность демпфирующей цепи – высокочастотные пики тока вторичной обмотки замыкаются именно здесь.

Очевидно, что смоделированная схема вполне работоспособна. Напряжение на выходе инвертора имеет почти идеальную прямоугольную форму с необходимой амплитудой 150 В. Синусоидальная форма тока в нагрузке и его фазовый сдвиг на  $90^\circ$  доказывает работоспособность индуктивно-емкостного преобразователя на резонансной частоте.

Исследование стабильности тока нагрузки.

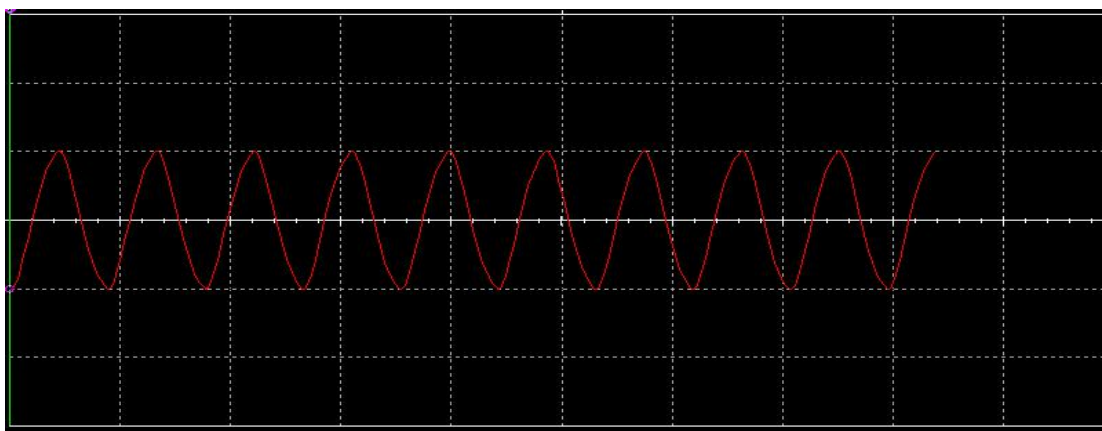


Рисунок 32 –Это форма волны тока, нагрузка 240 Ом

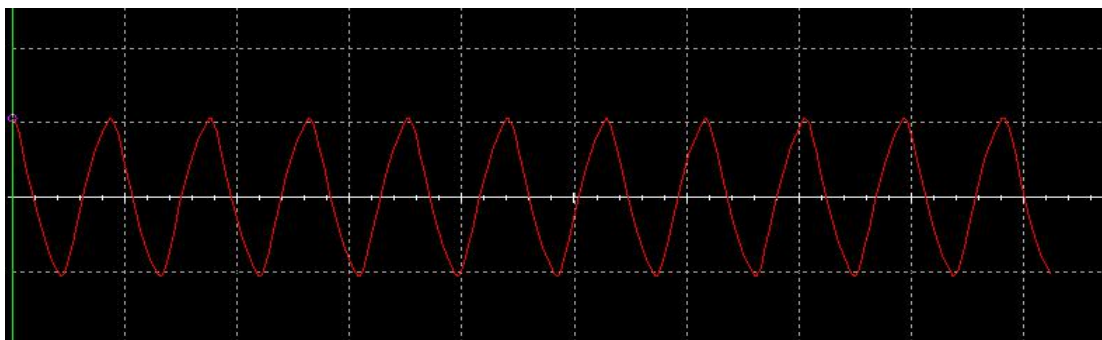


Рисунок 33 –Это форма волны тока, нагрузка 120 Ом



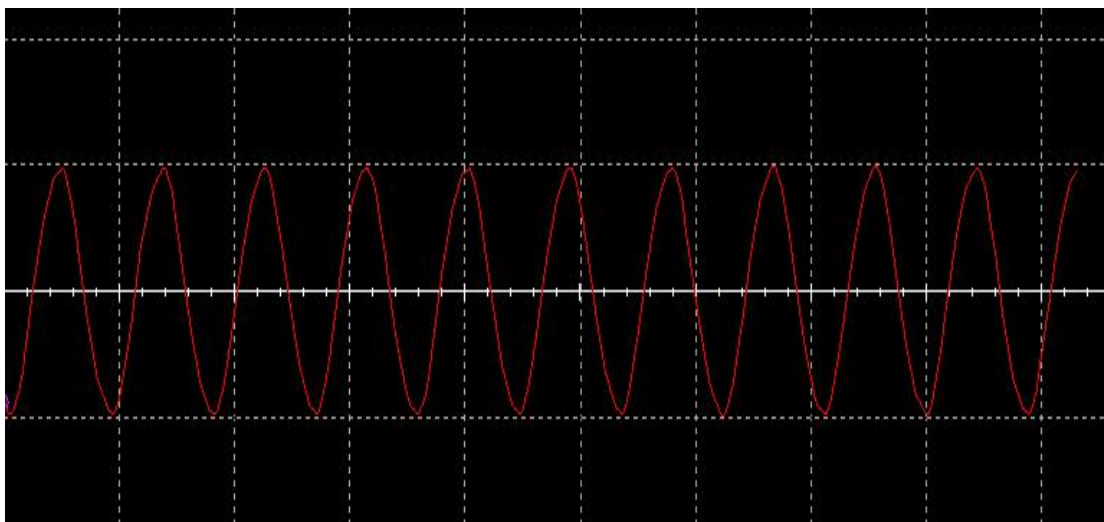


Рисунок 34 –Это форма волны тока, нагрузка 360 Ом

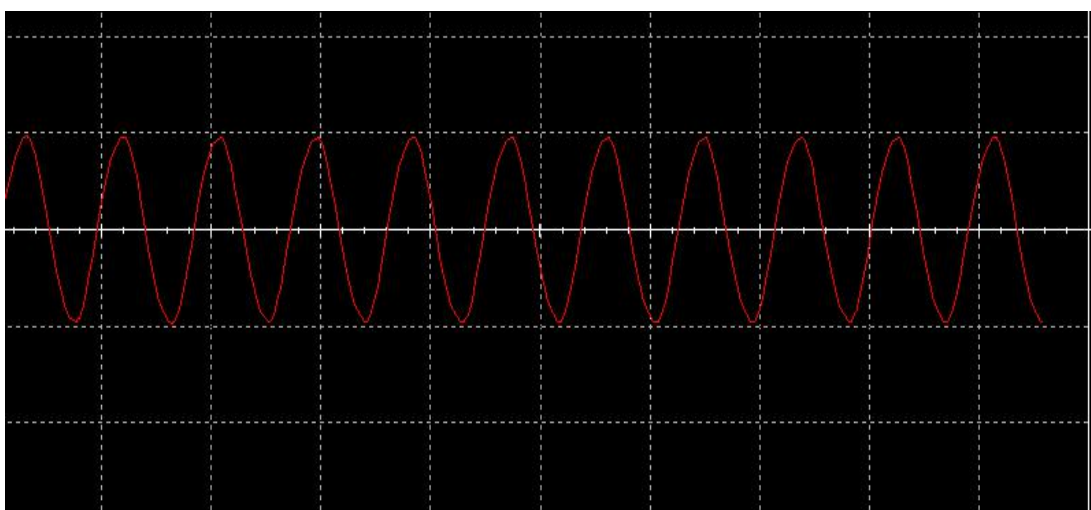


Рисунок 35 –Это форма волны тока, нагрузка 480 Ом

Таблица 2 — Ниже приведена зависимость максимального значения тока через нагрузку от величины нагрузки

$R_H / \Omega$	40	80	120	160	200	240
$I_H / A$	0.432	0.431	0.430	0.431	0.430	0.430
$R_H / \Omega$	280	320	360	400	440	480
$I_H / A$	0.430	0.430	0.429	0.429	0.430	0.430



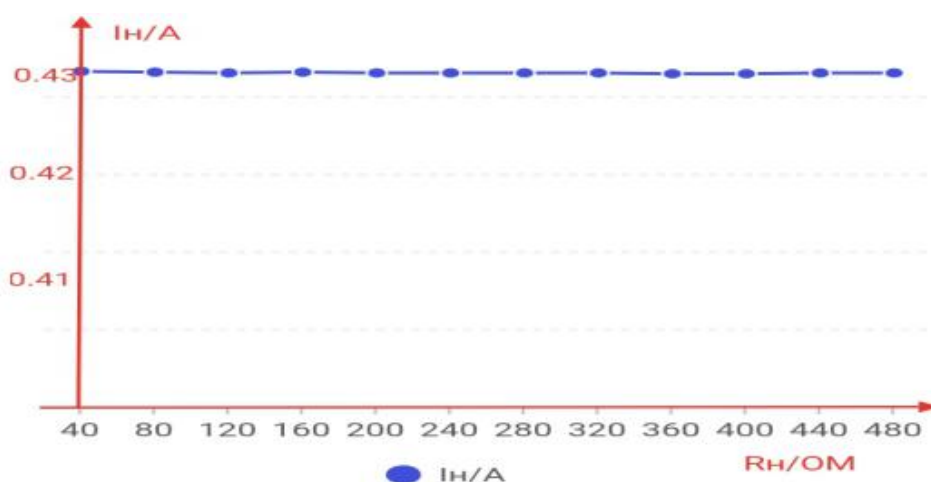


Рисунок36–График зависимости тока от сопротивления нагрузки

$$I_H = F(R_H)$$

Из приведенных выше результатов эксперимента видно, что сопротивление резистора не влияет на ток нагрузки, т.е. ток нагрузки стабилен.

Таблица 3 — зависимость напряжения на нагрузке от величины сопротивления нагрузки, т.е.  $U_H = f(R_H)$

$R_H / \Omega$	40	80	120	160	200	240
$U_{Hm} / В$	24.5	48.8	73.4	97.3	121.6	146.4
$U_{H=}$ $U_{Hm} \div \sqrt{2}$	17.32	34.51	51.90	68.8	85.98	103.5
$R_H / \Omega$	280	320	360	400	440	480
$U_{Hm} / В$	170	194.6	220	243.4	268.6	291.8
$U_{H=}$ $U_{Hm} \div \sqrt{2}$	120.2	137.6	155.56	172.11	189.93	206.33

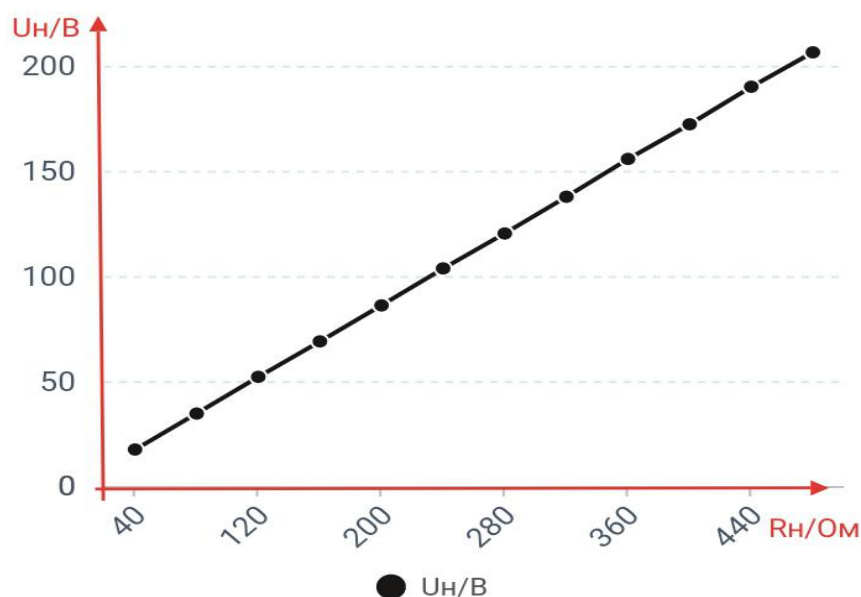


Рисунок 37– График зависимости напряжения на нагрузке от величины сопротивления нагрузки  $U_n = f(R_n)$  .

Из приведенных выше результатов эксперимента следует, что напряжение на нагрузке прямо пропорционально величине сопротивления нагрузки. Изменение сопротивления нагрузки в широких пределах практически не влияет на величину тока нагрузки, т.е. величина тока нагрузки является стабильной. Таким образом, эксперимент по моделированию показывает, что разработанное устройство формирует стабильный выходной ток с требуемыми параметрами, следовательно, разработанная схема удовлетворяет требованиям технического задания.

# ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1А6А	Хун Су

Школа	<u>ИШНКБ</u>	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроника и Нанoeлектроника

## Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Работа с определением информацией в установке, аналитических материалах, расчетов бюллетенях, нормативно-правовых документах; определение стоимости научного исследования
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	полезный расход материальных ресурсов; сумма технологических потерь; сумма организационно-технических потерь.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	30% премии; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент для г. Томска.

## Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Определен коммерческий потенциал проекта название индуктивно емкостной преобразователь для питания люминесцентной лампы
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Определение структуры плана проекта и трудоёмкости работ, разработка графика проведения НИИ, бюджет НИИ.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Определение интегрального показателя финансовой эффективности, интегрального показателя ресурсоэффективности, интегрального показателя эффективности и сравнительной эффективности вариантов исполнения

## Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Матрица SWOT
3. Альтернативы проведения НИ
4. График проведения и бюджет НИ
5. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.05.2020
--	------------

## Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Маланина В.А.	К.Э.Н., доцент		

## Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Хун Су		

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

Организация и планирование работ. Название проекта: Индуктивно-емкостной преобразователь для питания люминесцентной лампы.

При разработке определенного проекта необходимо оптимально планировать сроки проведения отдельных работ и занятость каждого из участников проекта.

На первом этапе составляется полный перечень проводимых работ, определяются исполнители и оптимальная продолжительность. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю.

Таблица 4 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 90%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 10%
Выбор структурной схемы	НР, И	НР – 30%

устройства		ИП – 90%
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	НР – 30% И – 100%
Расчет принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Разработка макета устройства	И	И – 100%
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	НР – 30% И – 100%
Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 90%

### 5.1 Определение трудоемкости выполнения работ.

Определим продолжительность этапов работ опытно-статическим методом, который реализуется:

- аналоговым способом;
- вероятностным способом.

Определим ожидаемое значение продолжительности работ  $t_{ожі}$ , применив вероятностный метод – метод двух оценок  $t_{min i}$  и  $t_{max i}$ .

Ожидаемое значение продолжительности работ рассчитывается по формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{min i} + 2t_{max i}}{5},$$

где

$t_{ожі}$  — ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{min i}$  —минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{max i}$  —максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

В выполнении работ принимали участие следующие специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Рассчитаем длительность этапов в рабочих днях, затем, переведя их в календарные дни, построим линейный график. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{Pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

где

$T_{Pi}$  — продолжительность одной работы, раб.дн.;

$t_{ожі}$  —ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. дн.;

$Ч_i$  —численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на одном этапе, чел.

Для отображения этапов проектирования используется график сетевой, либо линейный. Для удобства построения графика необходимо каждый этап перевести в календарные дни. Рассчитывается по следующей формуле:

$$T_{Ki} = T_{Pi} * k_{КАЛ},$$

где

$T_{кi}$  — продолжительность одной работы в календарных днях;

$k_{кал}$  — коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{КАЛ} = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВЫХ} - T_{ПР}} = \frac{365}{365 - 52 - 15} = 1.22$$

где

$T_{кал}$  — количество календарных дней году (365).

$T_{вых}$  — количество выходных дней в году (52).

$T_{пр}$  — количество праздничных дней в году (15).

Полученные данные, которые были рассчитаны вышеуказанными формулами, заносятся в таблицу 4. Используя таблицу 4, можно построить календарный план-график выполнения работ.

Таблица 5 – График трудоемкости ресурсов

Название работы	Исполнитель	Продолжительность работ (дни)			Длительность работ			
					$T_{pi}$		$T_{ki}$	
		$t_{\min i}$	$t_{\max i}$	$t_{\text{ож}i}$	НР	Ин	НР	Ин
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	2	5	3,2	3,2	-	3,90	3,90
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	3	5	3,8	1,9	1,9	2,31	2,31
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	10	17	12,8	6,4	6,4	7,80	7,80
Разработка календарного плана	НР, И	1	3	1,8	0,9	0,9	1,09	1,09
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2	6	3,6	1,8	1,8	2,19	2,19
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	4	10	6,4	3,2	3,2	3,90	3,90
Расчет принципиальной схемы устройства	И	7	12	9	-	9		10,98
Разработка макета устройства	И	4	10	6,4	-	6,4	7,80	7,80
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	2	8	4,4	2,2	2,2	2,68	2,68
Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	И	3	12	6,6	-	6,6	8,05	8,05
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1	2	1,4	-	1,4		1,70
Оформление материала	И	5	20	11	-	11		13,42
Подведение итогов	НР, И	1	3	1,4	0,7	0,7	0,85	0,85



Таблица 6 – Календарный план график

Название работы	Исполнитель	$T_{K_i}$	Продолжительность выполнения работ																	
			февраль			март			апрель			май			июнь			июль		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	3,90																		
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	2,31																		
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	7,80																		
Разработка календарного плана	НР, И	1,09																		
Выбор структурной схемы устройства	НР, И	2,19																		
Выбор принципиальной схемы устройства	НР, И	3,90																		
Расчет принципиальной схемы устройства	И	10,98																		
Разработка макета устройства	И	7,80																		
Проведение экспериментальных исследований	НР, И	2,68																		
Корректировка параметров принципиальной схемы устройства	И	8,05																		
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	1,70																		
Оформление материала	И	13,42																		
Подведение итогов	НР, И	0,85																		



инженер.



руководитель.

## 5.2 Расчет материальных затрат на научно-техническое исследование

Материальные расходы - это расходы на покупку сырья и материалов для изготовления товаров. В состав материальных затрат дипломного проекта входят такие элементы как:

- сырье;
- материалы;
- покупные материалы ( микросхемы и др.);
- комплектующие (резисторы, конденсаторы и др.).

Материальные затраты рассчитываются по следующей формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \sum_{i=1}^Q C_i * N_{расх.i}$$

где

$Q$  — количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении диплома;

$N_{расх.i}$  — количество материальных ресурсов, планируемых к использованию при выполнении диплома (шт., кг, м и т.д.);

$C_i$  — цена приобретенной единицы  $i$ -го вида (руб./шт., руб./кг, руб./м и т.д.);

$k_T$  — коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы. При помощи формулы заполняется таблица затрат на материалы.

В следующей таблице приведена цена на все необходимые компоненты для создания рабочего макета.

Таблица 7 – Расходные материалы

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб	
			Пост. 1	Пост.2	Пост. 1	Пост.2
Печатная плата	шт.	1	300	300	300	300
Микросхема драйвера	шт.	2	98	99,75	196	199,5
Диоды	шт.	7	4,20	3,50	29,4	24,5
Конденсаторы	шт.	11	1	2	11	22
Резисторы	шт.	10	0,5	1	5	10
Бумага для принтера	уп.	1	150	120	150	120
Припой	метр.	1	15	17	15	17
Транзисторы	шт.	2	24	25	48	50
Микросхемы стандартной логики (2ИЛИ-НЕ)	шт.	1	24	28	24	28
Микросхемы стандартной логики (триггер)	шт.	1	20	15	20	15
Итого					798,4	786

### 5.3 Расчет затрат на электроэнергию

При реализации дипломного проекта необходимо было оборудование для снятия диаграмм токов и напряжения, монтажа макета, корректировки параметров. На кафедре все необходимое оборудование есть в наличии, поэтому нет необходимости рассчитывать затраты на покупку оборудования. Необходимо рассчитать затраты на амортизацию электроэнергии и оборудования.

На рабочем месте потребителями электроэнергии являются:

- Осциллограф
- Вольтметр
- Источник питания
- Паяльник
- Люминесцентная лампа

Для расчета используется следующая формула:

$$\mathcal{E}_{об} = P_{об} * C_э * t_{об}, \text{ где}$$

$\mathcal{E}_{об}$  — затраты на электроэнергию, потребляемую оборудование (руб.);

$P_{об}$  — потребляемая мощность оборудования (Вт);

$C_э$  — тарифная цена (кВт/ч);

$t_{об}$  — время работы оборудования (ч.).

Время работы оборудования вычисляется исходя из календарного плана. Рабочий день длится 8 часов. Затраты по электроэнергии заносятся в таблицу 5. Расчет времени работы для оборудования производится следующим образом, так как паяльник, вольтметр, осциллограф и источник питания используется только на стадиях разработки макета устройства и проведения экспериментальных исследований, то тогда для них  $t_{об} = (7,8\text{день} + 2,68\text{день}) * 8 \text{ ч/день} = 83,84 \text{ч}$ . Освещение работает на всех стадиях работ, тогда для люминесцентной лампы  $t_{об} = T_{Ки} * 8 \text{ ч/день} = 534 \text{ч}$ .

Таблица 8 – Затраты на электроэнергию

Оборудование	Время работы $t_{об}$ (ч.)	Потребляемая мощность $P_{об}$ (кВт.)	тарифная цена $C_э$ (кВт/ч);	Затраты $Э_{об}$ (руб.)
Осциллограф	83,84	0,05	4,3	18,02
Вольтметр	83,84	0,01		3,6
Источник питания	83,84	0,03		10,81
Паяльник	83,84	1,5		540,77
Люминесцентная лампа	534	0,03		68,89

Таким образом, затраты на электроэнергию составляют:

$$Э_{общ} = 641,89 \text{ руб.}$$

#### 5.4 Расчет затрат на основную заработную плату

В данную статью расходов входят заработные платы научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения работы и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$З_{ср.} = \frac{О}{N_p}, \text{ где}$$

О – месячный оклад работника. Оклады распределены в соответствии занимаемые должностями.

$N_p$  – количество рабочих дней в месяце. При пяти дневной рабочей недели,  $N_p = 22$  дня.

Для расчета основной заработной платой для отдельного исполнителя необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$З_{осн.} = З_{ср.} * N_3 * (1 + k_d) * k_p,$$

где

$N_3$  – затраты времени на совершение работы в днях. Эти данные по каждому исполнителю брались из графика трудоемкости.

$k_p$  – районный коэффициент, для города Томска составляет 1,3.

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок ( $k_d=0,1$ ).

Фонд заработной платы для научного руководителя и инженера равен сумме их заработной платы.

Таблица 9 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Заработная плата, руб.
НР (доцент)	37000,00	1002,36	41	73768,36
И(научный сотрудник)	16214,00	737,00	67	70611,97
Итого:				144380,33

Таким образом, общий Оклад составил 144380,33 руб.

### 5.5 Расчет амортизации оборудования

Линейный способ –  $K = (1/n) \times 100 \%$ , где  $n$  – СПИ в мес.

Сумма ежемесячных отчислений на экспериментальное электронное оборудование =  $1,5 / 60$  месяцев  $\times 500\,000$  руб. = 12500 руб.

Дополнительная заработная плата рассчитывается в случае отклонений норм труда. В нашем случае нормы труда отклоняются только для инженера, так как происходит совмещение работы с обучением. Тогда:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}}$$

где

$k_{\text{доп}}$  — дополнительный коэффициент заработной платы (0,12—0,15).

Дополнительная заработная плата для инженера составила:

$$З_{\text{доп}} = 10591,8 \text{ руб.}$$

В данной статье учитываются обязательные взносы в пенсионный фонд, фонд социального страхования, а также медицинского страхования. Данные расходы рассчитываются по следующей формуле:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}})$$

где

$k_{\text{внеб}}$  — коэффициент отчислений во внебюджетные фонды.

$$k_{\text{внеб}} = k_{\text{пен. ф.}} + k_{\text{соц. стр.}} + k_{\text{мед.стр.}}$$

$k_{\text{пен.ф.}}$  — коэффициент отчислений в пенсионные фонды;

$k_{\text{соц. стр.}}$  — коэффициент социального страхования;

$k_{\text{мед.стр.}}$  — коэффициент медицинского страхования

$$K_{\text{внеб}}=30.2\%$$

Таблица 10 – Отчисления во внебюджетный фонд

Исполнитель	Основная заработная плата руб.	Дополнительная заработная плата руб.	Отчисление во внебюджетные фонды, руб.
НР	73768,36	0	22130,508
И	70611,97	10591,8	24361,131
Итого:			46491,639

Суммируя все статьи расходов, получаем общую себестоимость дипломного проекта, полученные результаты заносятся в таблицу 10.

Таблица 11 – Себестоимость дипломного проекта

Статья расходов	Стоимость (исп. 1), руб.	Стоимость (исп. 2), руб.
Материальные затраты	798,4	786
Затраты на электроэнергию	641,89	641,89
Затраты на основную заработную плату	144380,33	144380,33
Затраты на дополнительную заработную плату	10591,8	10591,8



Затраты на отчисление во внебюджетные фонды	46491,639	46491,639
Расходы на амортизацию	12500	12500
Итого	215404.059	215391.659

Общие затраты на реализацию научного проекта составили:

$$C_{\text{общ1}} = 215404.059 \text{ руб}$$

$$C_{\text{общ2}} = 215391.659 \text{ руб}$$

Величина общих затрат при различных исполнениях отличается лишь на разницу материальных затрат для двух исполнений. Потому что трудоемкости исполнений равны, а все другие статьи расходов равны между собой. Оценка эффективности проекта.

Одним из важнейших критериев расчета является оценка эффективности дипломного проекта, определяются две важные составляющие:

- Показатель финансовой эффективности
- Показатель ресурсоэффективности.

Показатель финансовой эффективности рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}$$

где

$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$  — интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  — стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  — максимальная стоимость исполнения проекта (в т.ч. аналоги).

Таблица 12 – Показатели финансовой эффективности

Параметр	$\Phi_{pi}$ руб.	$\Phi_{max}$ руб.	$I_{\text{исп.}i}$ финр
Исполнение 1	Собщ1=215404.059	235000	0,917
Исполнение 2	Собщ2=215391.659		0,916

Интегральные показатели двух исполнений не сильно отличаются друг от друга. Их величина меньше единицы, следовательно, разработка является эффективной. Далее производится расчет ресурсоэффективности. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum_{i=1}^N a_i \cdot b_i$$

где

$I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности;

$a_i$  –весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта;

$b_i$  – количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, в баллах (от 1 до 10).

Расчет ресурсоэффективности производится по каждому критерию, по которому характеризуется готовый рабочий прототип (удобство эксплуатации, точность позиционирования и т.д.) и заносится в таблицу.

Таблица 13 – Показатели оценки ресурсоэффективности.

Критерий	Весовой коэффициент	Балльная оценка	
		Исп.1	Исп.2
Удобство в эксплуатации	0,15	7	6
Помехоустойчивость	0,15	6	7
Энергосбережение	0,2	8	8
Надежность	0,25	7	6
Материалоемкость	0,05	6	5
Цена	0,1	5	4
Итого	1	45	42

Проанализировав таблицу 12, рассчитывается интегральная оценка эффективности для двух исполнений.

$I_{p1} = 6,7$  показатель ресурсоэффективности для первого исполнения;  $I_{p2} = 6,3$  показатель ресурсоэффективности для второго исполнения. Зная значения коэффициентов ресурсоэффективности и финансовой эффективности, рассчитывается показатель эффективности разработки:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{pi}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}}$$

$I_{\text{исп.1}} = 7,3$  интегральный показатель эффективности вариантов;  
 $I_{\text{исп.2}} = 6,88$  интегральный показатель эффективности вариантов. Для качественного анализа используется сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср.}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = 1,061$$

Таблица 14 – Показатели эффективности

Показатели	Исп. 1	Исп. 2
Интегральный показатель финансовой эффективности	0,917	0,916
Интегральный показатель ресурсоэффективности	6,7	6,3
Интегральный показатель эффективности вариантов	7,3	6,88
Сравнительная эффективность	1,061	

Полученная сравнительная эффективность  $\mathcal{E}_{\text{ср.}}$  больше единицы, следовательно, второй вариант разработки менее эффективен, с точки зрения финансовой и ресурсной эффективности.

## «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
1А6А	Хун Су

<b>Школа</b>	<b>ИШНКБ</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОЭИ</b>
<b>Уровень образования</b>	Бакалавриат	<b>Направление/специальность</b>	Электроника и Нанoeлектроника

Тема ВКР:

**Разработка и исследование автономного индуктивно-емкостного преобразователя для питания газоразрядной лампы.**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

Объектом исследования является Индуктивно- емкостной преобразователь для питания люминесцентной лампы.  
Рабочим местом является отдельное помещение(научная лаборатория).

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

**1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:**

Рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.

**2. Производственная безопасность:**

Анализ потенциально возможных вредных и опасных факторов проектируемой производственной среды.  
Разработка мероприятий по снижению воздействия вредных и опасных факторов:  
– Неудовлетворительный микроклимат;  
– Повышенный уровень шума;  
– Недостаточная освещенность рабочей зоны;  
– Поражение электрическим током  
– Повышенный уровень напряженности электростатического и электромагнитных полей;  
– Пожароопасность

**3. Экологическая безопасность:**

анализ воздействия объекта на атмосферу, гидросферу и литосферу.  
решение по обеспечению экологической безопасности.

<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; Выбор наиболее типичной ЧС; Разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; Разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. Пожаровзрывоопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	25.05.2020
--	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель (ООД, ШБИП)	Гуляев М. В.	-		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1А6А	Хун Су		

## **6 Социальная ответственность**

Разработка схемы высокочастотного инвертора напряжения на основе индуктивно-емкостного преобразователя для питания люминесцентной лампы проводилась в лаборатории кафедры промышленной и медицинской электроники НИ ТПУ. Данная лаборатория оборудована приборами, позволяющими осуществлять радиомонтаж навесных электронных компонентов и тестирование макета прибора. В целях безопасности для работников, общества и окружающей среды разработаем комплекс мероприятий технического, организационного характера, которые минимизируют негативные последствия проектируемой деятельности.

Производственная среда, организация рабочего места должна соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, нормам санитарии, экологической и пожарной безопасности. Согласно ГОСТ 12.0.003-74 все вредные и опасные факторы, воздействующие при эксплуатации оборудования, можно классифицировать следующим образом:

а) поражение электрическим током при прикосновении к открытым токоведущим частям электрооборудования или при нарушении изоляции проводов;

б) санитарно–гигиенические: нерациональное освещение, превышение уровня шума, повышенный уровень электромагнитных излучений;

в) организационно – технические: неправильная организация труда и рабочего места (загроможденность помещения, присутствие ненужных и отсутствие необходимых для работы приборов и приспособлений), недостаточное обучение работников правилам техники безопасности.

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96, по энергозатратам работа в лаборатории относится к 1б категории – это работа легкая физическая, которая не требует поднятия и переноса тяжестей, производится сидя или связана с ходьбой.

## **6.1 Организационные мероприятия обеспечения безопасности**

Большое значение в работе имеет организация рабочих мест сотрудников и создание благоприятных условий труда.

Работа в лаборатории обычно отличается малой двигательной активностью, монотонностью, длительным нахождением в закрытом помещении. Всё это вызывает быструю утомляемость и естественно отражается на результатах труда.

В лаборатории площадью 18,5 м<sup>2</sup> может работать одновременно не более 3 человек, следовательно учтены нормы площади служебного помещения, для обеспечения благоприятных условий микроклимата помещение оборудовано вытяжкой. Глубина стола составляет 800мм, ширина 1,5м. Расстояние между работающими составляет не менее 1,5м. Ширина прохода составляет около 2м. Плоскости экранов компьютеров расположены перпендикулярно окнам, габариты мебели соответствуют размерам помещения, загромождения нет.

## **6.2 Особенности законодательного регулирования проектных решений**

Режим труда и отдыха предусматривает соблюдение определенной длительности непрерывной работы на ПК и перерывов, регламентированных с учетом продолжительности рабочей смены, видов и категории трудовой деятельности.

Трудовая деятельность в лаборатории относится к категории 1б – это работа легкая физическая, которая не требует поднятия и переноса тяжестей, производится сидя или связана с ходьбой.

Количество и длительность регламентированных перерывов, их распределение в течение рабочей смены устанавливается в зависимости от категории работ на ПК и продолжительности рабочей смены. Так как рабочая



смена составляет около 8 часов, то перерывы происходят через 1,5- 2,0 часа от начала рабочей смены и через 1,5-2,0 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый.

Микроклимат производственного помещения оказывает большое влияние на организм человека, на его здоровье и самочувствие, работоспособность и производительность труда.

К показателям, характеризующим микроклимат, относятся:

- температура воздуха [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- относительная влажность [%];
- скорость движения воздуха [м/с];

Приведем оптимальные и допустимые показатели микроклимата производственных помещений согласно СанПиН 2.2.4.548-96.

Таблица 15— Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	21-23	40-60	0,1
Теплый	22-24	40-60	0,1

Таблица 16 — Допустимые показатели микроклимата

Период года	Температура, град. С		Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с	
	ип. ниже о.в.	ип. ниже о.в.		Дип. ниже о.в.	Дип. ниже о.в.
Холодный	9 – 20,9	3,1 – 24	15 – 75	0,1	0,2
Теплый	20 – 21,9	24,1 – 28	15 – 75	0,1	0,3

Отопление лаборатории и корпуса в целом водяное с применением радиаторов. Поскольку работа сопряжена с выделением горючих и поддерживающих горение паров и газов, лаборатория оборудована системой вентиляции. Измеренные показатели микроклимата лаборатории соответствуют оптимальным показателям.

Плохое освещение утомляет не только зрение, но и вызывает утомление организма в целом. Неправильное освещение может быть причиной травматизма: плохо освещенные опасные зоны, слепящие лампы, резкие тени ухудшают или вызывают полную потерю зрения, ориентации.

Данные виды освещения освещению нормируется СП 52.13330.2011. В данной лаборатории проводятся работы средней точности с наименьшим размером объекта различения более 0,5мм. Разряд зрительной работы в, подразряд 2. Освещенность рабочей поверхности от систем общего освещения составляет 200лк. На рис. 28 показано размещение светильников. В качестве источника света используются газоразрядные лампы низкого давления белой цветности.

Нормативное значение КЕО соответствии с СП 52.13330.2011 при третьем разряде зрительной работы (IIIг: контраст малый и средний, фон светлый и средний), при естественном боковом освещении  $KEO_{\text{е}} = 1,2 \%$ , освещенность при искусственном освещении – 200 лк, ослепленность 40 ед. и пульсации искусственного освещения не более 15%.

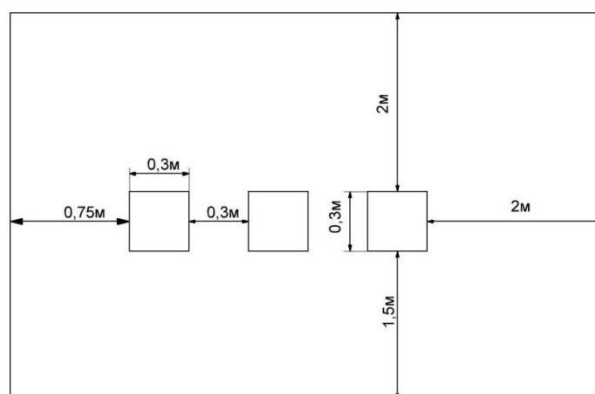


Рисунок 38 – Размещение светильников

### 6.3 Уровень шума

Сильный продолжительный шум оказывает негативное влияние на сердечно-сосудистую и нервную системы, может привести к понижению слуха, а так же приводит к снижению работоспособности и производительности труда. Шум на рабочих местах может возникнуть не только от устройств внутри лаборатории, а также может проникать извне через открытые проемы форточек, окон и дверей из кабинета в коридор.

В лаборатории кафедры шумы превышающие уровень 60 дБА, установленный ГОСТ 12.1.003-99, отсутствуют. Здание находится вдали от центральных улиц, автомобильных и железных дорог и аэропортов.

Слабые электромагнитные поля (ЭМП) мощностью сотые и даже тысячные доли Ватт высокой частоты для человека опасны тем, что интенсивность таких полей совпадает с интенсивностью излучений организма человека при обычном функционировании всех систем и органов в его теле. В результате этого взаимодействия собственное поле человека искажается, провоцируя развитие различных заболеваний, преимущественно в наиболее ослабленных звеньях организма. В лаборатории источниками электромагнитных излучений являются: компьютеры, приборы, используемые для измерения сигналов и наладки оборудования.

К организационным мероприятиям по защите от действия ЭМП относятся: выбор режимов работы излучающего оборудования, обеспечивающего уровень излучения, не превышающий предельно допустимый, ограничение места и времени нахождения в зоне действия ЭМП (защита расстоянием и временем), обозначение и ограждение зон с повышенным уровнем ЭМП.

Защита временем применяется, когда нет возможности снизить интенсивность излучения в данной точке до предельно допустимого уровня. В

действующих ПДУ предусмотрена зависимость между интенсивностью плотности потока энергии и временем облучения.

Защита расстоянием основывается на падении интенсивности излучения, которое обратно пропорционально квадрату расстояния и применяется, если невозможно ослабить ЭМП другими мерами, в том числе и защитой временем. Границы зон определяются расчетно для каждого конкретного случая размещения излучающей установки при работе их на максимальную мощность излучения и контролируются с помощью приборов.

#### **6.4 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды .**

Согласно пункту 1.1.13. из правила устройства электроустановок (ПУЭ) данная лаборатория относится к первому классу опасности, так как в ней учтены все необходимые правила по электробезопасности, это сухое помещение без повышенного напыления, температура воздуха нормальная, пол покрыт изоляционным материалом. Все электрооборудование и приборы находятся на своих местах и имеют защитное заземление с сопротивлением не более 4 Ом (ГОСТ 12.1.030-81.) Все сотрудники проходят первичный инструктаж по электробезопасности.

##### **Пожарная безопасность**

Поскольку в помещении лаборатории происходят работы связанные с обработкой негорючих веществ и материалов в холодном состоянии, помещение по степени пожароопасности относится к классу Г (ГОСТ 12.1.004-91).

Причинами пожара могут быть:

- токи короткого замыкания;
- неисправность электросетей;
- незнание или небрежность обслуживающего персонала;

- курение в неположенных местах.

В связи с этим в лаборатории необходимо выполнять следующие нормы пожарной безопасности:

- для предохранения сети от перегрузок запрещается включать дополнительные не предусмотренные потребители;
- работы в лаборатории проводить только при исправном состоянии оборудования, электропроводки;
- иметь средства для тушения пожара (огнетушитель);
- иметь в наличии план эвакуации людей, который должен висеть на видном месте;
- оборудование размещать так, чтобы был достаточный проход к выходу.
- пользоваться открытым огнем, курить;
- производить зарядку аккумуляторных батарей;
- хранить легко воспламеняющиеся вещества, за исключением спирта для технологических целей (1 литр).

#### **6.5 Требования к способу противопожарной защиты системы противопожарной защиты.**

Предотвращение пожара должно достигаться предотвращением образования горючей среды и (или) предотвращением образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания.

Предотвращение образования горючей среды должно обеспечиваться одним из следующих способов или их комбинаций:

максимально возможным применением негорючих и трудногорючих веществ и материалов;

максимально возможным по условиям технологии и строительства ограничением массы и (или) объема горючих веществ, материалов и наиболее безопасным способом их размещения;

изоляция горючей среды (при наличии изолированных отсеков, камер, кабин и т. п.);

поддержанием безопасной концентрации среды в соответствии с нормами и правилами и другими нормативно-техническими, нормативными документами и правилами безопасности;

достаточной концентрацией флегматизатора в воздухе защищаемого объема (его составной части);

поддержанием температуры и давления среды, при которых распространение пламени исключается; максимальной механизацией и автоматизацией технологических процессов, связанных с обращением горючих веществ; установкой пожароопасного оборудования по возможности в изолированных помещениях или на открытых площадках; применением устройств защиты производственного оборудования с горючими веществами от повреждений и аварий, установкой отключающих, отсекающих и других устройств.

Предотвращение образования в горючей среде и источников зажигания должно достигаться применением одним из следующих способов или их комбинацией: применением машин, механизмов, оборудования, устройств, при эксплуатации которых не образуются источники зажигания; применением электрооборудования, соответствующего пожароопасной взрывоопасной зоне, группе и категории взрывоопасной смеси в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.011 и Правил устройства электроустановок;

применением в конструкции быстродействующих средств защитного отключения возможных источников зажигания;

применением технологического процесса и оборудования, удовлетворяющего требованиям электростатической искробезопасности по ГОСТ 12.1.018; устройством молниезащиты зданий, сооружений и оборудования; поддержанием температуры и нагрева поверхности машин, механизмов, оборудования, устройств, веществ и материалов, которые могут

войти в контакт сгорючей средой, ниже предельно допустимой, составляющей 80% наименьшей температуры самовоспламенения горючего; исключение возможности появления искрового разряда в горючей среде с энергией, равной и выше минимальной энергии зажигания;

применением неискрящего инструмента при работе с легко воспламеняющимися жидкостями и горючими газами;

ликвидацией условий для теплового, химического и (или) микробиологического самовозгорания обращающихся веществ, материалов, изделий и конструкций. Порядок совместного хранения веществ и материалов осуществляют в соответствии с приложением 7; устранением контакта с воздухом пиррофорных веществ; уменьшением определяющего размера горючей среды ниже предельно допустимого по горючести; выполнением действующих строительных норм, правил и стандартов.

Ограничение массы и (или) объема горючих веществ и материалов, а также наиболее безопасный способ их размещения должны достигаться применением одного из следующих способов или их комбинацией: уменьшением массы и (или) объема горючих веществ и материалов, находящихся одновременно в помещении или на открытых площадках; устройством аварийного слива пожароопасных жидкостей и аварийного стравливания горючих газов из аппаратуры; устройством на технологическом оборудовании систем противовзрывной защиты метод определен на безопасной площади разгерметизации оборудования приведен в приложении 8; периодической очистки территории, на которой располагается объект, помещений, коммуникаций, аппаратуры от горючих отходов, отложений пыли, пуха и т. п.; удалением пожароопасных отходов производства; заменой легко воспламеняющихся (ЛВЖ) и горючих (ГЖ) жидкостей на пожаробезопасные технические жидкости.

## **6.6 Организация технических мероприятий по обеспечению пожарной безопасности.**

Организационно-технические мероприятия должны включать:

организацию пожарной охраны, организацию ведомственных служб пожарной безопасности в соответствии с законодательством.

паспортизацию веществ, материалов, изделий, технологических процессов, зданий и сооружений объектов в части обеспечения пожарной безопасности;

привлечение общественности к вопросам обеспечения пожарной безопасности;

организацию обучения работающих правилам пожарной безопасности на производстве, а населения — в порядке, установленном правилами пожарной безопасности соответствующих объектов пребывания людей;

разработку и реализацию норм и правил пожарной безопасности, инструкций о порядке обращения с пожароопасными веществами и материалами, о соблюдении противопожарного режима и действиях людей при возникновении пожара;

изготовление и применение средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности;

порядок хранения веществ и материалов, тушение которых недопустимо одними и теми же средствами, в зависимости от их физико-химических и пожароопасных свойств;

нормирование численности людей на объекте по условиям безопасности их при пожаре;

разработку мероприятий по действиям администрации, рабочих, служащих и населения на случай возникновения пожара и организацию эвакуации людей;



основные виды, количество, размещение и обслуживание пожарной техники по ГОСТ 12.4.009. Применяемая пожарная техника должна обеспечивать эффективное тушение пожара (загорания), быть безопасной для природы и людей.

### **6.7 Эвакуация при пожаре**

Здание корпуса 16 В, в котором располагается лаборатория соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители и план эвакуации, а так же установлены таблички с указанием направлений к запасному (эвакуационному) выходу (рис. 29).

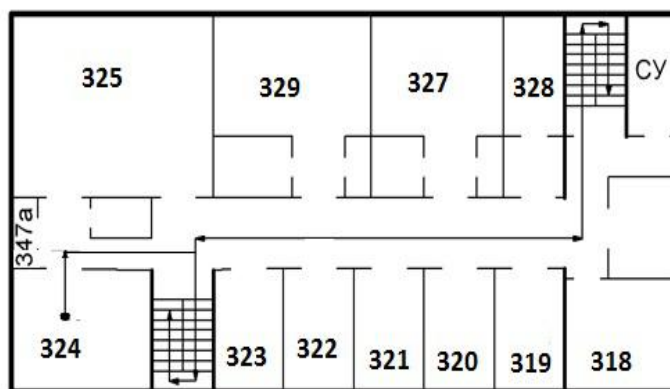


Рисунок 39 – План пожарной эвакуации

### **6.8 Региональная безопасность**

Согласно ГОСТ 17.2.1.01-76 высокочастотный инвертор напряжения на основе индуктивно-емкостного преобразователя для питания нелинейной нагрузки не наносит вред окружающей среде. Устаревшее или пришедшее в негодность оборудование списывается и утилизируется. Все отходы, образующиеся в ходе работ, выбрасываются в урну, после чего утилизируются.

## 6.9 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Лаборатория находится в городе Томске с континентально-циклоническим климатом. Возможным ЧС на объекте в данном случае могут быть сильные морозы. Они могут вывести из строя линии электропередач, теплотрассы, водопровод. Из-за сильных морозов может произойти сбой в теплоснабжении с последующим размораживанием отопительных систем. При сбое теплоснабжения необходимо постараться сохранить тепло в помещении до устранения последствий аварии на теплотрассе. Для этого нужно плотно закрывать за собой входные двери, не оставлять открытыми окна на этажах. Также возможно, использование масляных электрообогревателей для обогрева, применение которых снижает вероятность возникновения пожара. Для предупреждения последствий морозов необходимо применить следующие меры:

- резервное энергосбережение;
- резервное отопление.

## **Заключение**

Основные результаты работы состоят в следующем:

1. Проведен обзор литературы, в котором рассмотрены основные схемотехнические решения преобразователей постоянного напряжения в переменное, выявлены их преимущества и недостатки. Для преобразования постоянного напряжения аккумулятора в переменное прямоугольное выбрана двухтактная схема инвертора со средней точкой трансформатора, обладающая повышенной эффективностью при относительно малых значениях питающего напряжения. В качестве устройства, стабилизирующего переменный ток нелинейной нагрузки, использован Г-образный индуктивно-емкостной преобразователь, эффективно работающий при прямоугольной форме входного напряжения на повышенных рабочих частотах. Составлена структурная и принципиальная схемы проектируемого источника питания.

2. Проведён расчёт силовой части и системы управления источника питания, выбрана элементная база для реализации всех блоков устройства.

3. Разработана модель разработанного устройства в программе MultiSim, произведена настройка модели, проведен цикл экспериментальных исследований при различных сопротивлениях нагрузки.

4. Сопоставительный анализ данных, полученных в ходе расчетов и моделирования, выявил качественное и количественное совпадение результатов исследования (погрешность не превысила 5% для любого рассматриваемого параметра), что свидетельствует об адекватности модели и справедливости выполненных расчетов. Параметры разработанного источника соответствуют требованиям технического задания.

Знания и опыт, полученные в процессе выполнения выпускной квалификационной работы, будут востребованы в дальнейшей трудовой деятельности.

## Список используемых источников

1. Глебов Б.А. Блокинг-генераторы на транзисторах. М., «Энергия», 1972. – 104 с.:ил.
2. Принципы построения и оптимизации схем индуктивно-емкостных преобразователей / Волков И.В., Губаревич В.Н., Исаков В.Н., Кабан В.П. – Киев: Наук. думка, 1981. – 176 с.
3. Микросхемы логические [Электронный ресурс]/ Платан URL: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w900152.html>, свободный. – Яз. рус.
4. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Протусевич и др.; Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
5. Справочник по электрическим конденсаторам / М. Н. Дьяконов, В. И. Карабанов, В. И. Пресняков и др.; Под общ.ред. И. И. Четверткова и В. Ф. Смирнова. – М.: Радио и связь, 1983. – 576 с.: ил.
6. Ферритовые кольцевые сердечники [Электронный ресурс] / Завод «Магнетон». URL: <http://www.magneton.ru/cat.php?id=134>, свободный. – Яз. рус.
7. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. — Москва: Радио и связь, 1988. — 174 с.
8. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник / К. М. Брежнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под ред. Б. Л. Перельмана. – М.: Радио и связь, 1981. – 656 с., ил.
9. Сердечники МП140 [Электронный ресурс]/ БАЛТЭЛЕКТРОНКОМПЛЕКТ URL: <http://bec36.ru/p61226749-mp140-k10h6h3.html>, свободный. – Яз. рус.
10. Драйверы MOSFET и IGBT [Электронный ресурс]/ Платан URL: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w900024.html>, свободный. – Яз. рус.

11. Дуговой разряд [Электронный ресурс] / Википедия - свободная энциклопедия. URL: [http://ru.wikipedia.org/wiki/Люминесцентная\\_лампа](http://ru.wikipedia.org/wiki/Люминесцентная_лампа), свободный. – Яз. рус.
12. Транзисторы MOSFET [Электронный ресурс]/ Платан URL: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w204.html>, свободный. – Яз. рус.
13. Провод ПЭВ-2 [Электронный ресурс] / Кабель.РФ. URL: [http://cable.ru/cable/group-pev\\_2.php](http://cable.ru/cable/group-pev_2.php), свободный. – Яз. рус.
14. Расчет электромагнитных элементов источников вторичного электропитания / А. Н. Горский, Ю. С. Русин, Н. Р. Иванов, Л. А. Сергеева. — Москва: Радио и связь, 1988. — 174 с.
15. Резисторы: Справочник / В. В. Дубровский, Д. М. Иванов, Н. Я. Протусевич и др.; Под ред. И. И. Четверткова и В. М. Терехова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1991. – 528 с.: ил.
16. Сердечники МП140 [Электронный ресурс] URL: <http://bec36.ru/p61226749-mp140-k10h6h3.html>, свободный. – Яз. рус.
17. Справочник по электрическим конденсаторам / М. Н. Дьяконов, В. И. Карабанов, В. И. Пресняков и др.; Под общ.ред. И. И. Четверткова и В. Ф. Смирнова. – М.: Радио и связь, 1983. – 576 с.: ил.
18. Транзисторы MOSFET [Электронный ресурс]/ Платан URL: <http://www.platan.ru/cgi-bin/qweryv.pl/0w204.html>, свободный. – Яз. рус.